

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniería
Ambiental**

**USO DE HUMEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL.
PROTOTIPOS PARA POBLACIONES DE 1000, 2000 Y 3000
HABITANTES. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.**

**AUTORA:
ERIKA ANDREA ALBUJA RIVILLA**

DIRECTOR: ING. MIGUEL ARAQUE ARELLANO

Quito, Mayo del 2012

DECLARACIÓN

Yo, Erika Andrea Albuja Rivilla, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Politécnica Salesiana, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Quito, Mayo 2012

ERIKA ANDREA ALBUJA RIVILLA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Erika Andrea Albuja Rivilla, bajo mi supervisión.

ING. MIGUEL ARAQUE ARELLANO
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar mi carrera universitaria quiero extender mis más sinceros agradecimientos:

A Dios por darme la fuerza, salud, y sabiduría para culminar una etapa de mi vida con éxito.

A mis padres Efrén Albuja y Fátima Rivilla quienes han sido mi pilar fundamental que ha iluminado mi vida con amor, y han sido mi inspiración para poder alcanzar todas mis metas y sueños anhelados.

Al Ingeniero Miguel Araque Arellano distinguido profesional, maestro y amigo quien supo brindar sus vastos conocimientos, desinteresado apoyo y acertada dirección en la realización de esta Tesis, que supo estimular y ayudar a vencer las múltiples dificultades a lo largo de mi vida universitaria.

A mi hermano Renato Albuja quien me ha apoyado incondicionalmente en toda mi trayectoria de vida y ha creído en mí.

A mi mejor amiga Ximena Cadena quien ha sido la voz de aliento durante toda esta etapa universitaria y ha confiado en mí.

A Mario Carrera quien ha sido mi soporte para no darme por vencida.

Además quiero expresar mi gratitud a la Universidad Politécnica Salesiana por contribuir a mi formación profesional durante el tiempo que he permanecido. De igual manera un especial reconocimiento a mis compañeros y amigos que me acompañaron en mis años de estudios.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que de una u otra manera ayudaron a la culminación de la presente tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo, fruto de la constancia incansable de esta etapa profesional, se lo dedico con mucho amor a mis Padres Efrén y Fátima, gracias a su constante dedicación en todas las facetas de mi vida, han inculcado los principios que hoy por hoy permanecen en mí. Gracias Papitos Los AMO.

A la persona que confío en mí y me supo guiar como un ángel guardián en cada momento importante que transcurría mi vida, gracias por sus conocimientos brindados Miguelito Araque.

Asimismo a mi hermano Renato por su cariño y amor quien me alentó para continuar en esta trayectoria de crecimiento profesional y a lo largo de mi vida.

A mi sobrino Dylan mi gran inspiración.

A mi hermana Ximena quien ha sido mi fiel compañía en los momentos buenos y malos.

Finalmente a la persona que con su amor ha ayudado que cumpla mi meta final gracias Mario.

GRACIAS FAMILIA

ERIKA ALBUJA.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ANEXOS	II
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
1. <i>Introducción</i>	3
2. <i>Planteamiento del problema</i>	5
3. <i>Justificación</i>	5
4. <i>Objetivos</i>	7
4.1. <i>Objetivo general</i>	7
4.2. <i>Objetivos específicos</i>	7
5. <i>Descripción del área del proyecto</i>	7
5.1. <i>Geografía</i>	8
6. <i>Generalidades</i>	8
7. <i>Ventajas</i>	10
8. <i>Limitaciones</i>	10
9. <i>Funciones de los humedales artificiales</i>	13
9.1. <i>Procesos de remoción físicos</i>	13
9.2. <i>Procesos de remoción biológicos</i>	13
9.3. <i>Procesos de remoción químicos</i>	13
CAPÍTULO II	15
2. <i>Marco teórico</i>	15
2.1. <i>Definición de aguas residuales</i>	15
2.1.1. <i>Aguas negras</i>	15
2.1.2. <i>Volumen</i>	15
2.2. <i>Origen de las aguas negras y de los desechos</i>	16
2.3. <i>Fuentes de aguas residuales</i>	18
2.3.1. <i>Aguas residuales domésticas</i>	18
2.3.2. <i>Aguas residuales municipales</i>	18
2.3.4. <i>Aguas residuales industriales</i>	18
2.3.5. <i>Aguas negras</i>	18

2.3.6. Aguas grises	18
2.4. Los sólidos de las aguas negras	19
2.4.1. Definiciones de los sólidos de las aguas negras	19
2.4.1.1. Sólidos orgánicos	19
2.4.1.2. Sólidos inorgánicos	19
2.4.1.3. Sólidos suspendidos	20
2.4.1.4. Sólidos sedimentables	20
2.4.1.5. Sólidos coloidales suspendidos	21
2.4.1.6. Sólidos disueltos	21
2.4.1.7. Sólidos totales.	21
2.5. Gases disueltos.....	22
2.5.1. Líquidos volátiles	23
2.6. Contaminación.....	23
2.7. Principales contaminantes del medio y sus posibles efectos	24
2.8. Características físicas.....	25
2.9. Características químicas	26
2.10. Constituyentes orgánicos en las aguas residuales domésticas	29
2.11. Principales compuestos de la materia orgánica	29
2.11.1. La demanda bioquímica de oxígeno.....	31
2.11.2. La demanda química de oxígeno.....	32
2.11.3. El pH	32
2.11.4. Los cloruros	32
2.11.5. La alcalinidad del agua	33
2.11.6. Nitrógeno y fósforo	33
2.11.7. Los compuestos del fósforo	33
2.11.8. El nitrógeno.....	33
2.11.9. El azufre.	34
2.11.10. Los sulfatos.....	34
2.12. Estado de las aguas negras	36
2.12.1. Aguas negras frescas.....	36
2.12.2. Aguas negras sépticas	37
2.12.3. Aguas negras estabilizadas	37
2.13. Marco legal	37
CAPÍTULO III	46
3. Humedales.....	46
3.1. Introducción	46
3.2. Tipos de sistemas naturales.....	46
3.3. Humedales contruidos	48

3.4. Humedales de flujo subsuperficial.....	49
3.5. Humedales de flujo horizontal.....	49
3.6. Impermeabilización	49
3.7. Estructuras de entrada y salida.....	50
3.8. Vegetación	50
3.9. Mecanismos de eliminación de los contaminantes	54
3.10. Materia en Suspensión	55
3.11. Materia Orgánica	56
3.12. Nitrogeno	59
3.13. Fósforo	61
3.14. Patógenos	62
3.15. Otros contaminantes	63
3.16. Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos.....	63
3.17. Especificaciones técnicas para pozos de absorción	64
3.18. Diseño de humedales de flujo horizontal.....	66
3.18.1. Dimensionamiento	67
3.18.1.1. Dimensionamiento biológico	67
3.18.1.2. Dimensionamiento hidráulico	71
3.19. Ejemplo de dimensionamiento de un tratamiento con humedales de flujo subsuperficial para la población de 1000 habitantes.....	75
3.20. Ejemplo de dimensionamiento de un tratamiento con humedales de flujo subsuperficial para la población de 2000 habitantes.....	76
3.21. Ejemplo de dimensionamiento de un tratamiento con humedales de flujo subsuperficial para la población de 3000 habitantes.....	77
3.22. Cálculo de volúmenes	78
3.22.1. Cálculo de volúmenes para 1000 habitantes	78
3.22.2. Cálculo de volúmenes para 2000 habitantes	79
3.22.3. Cálculo de volúmenes para 3000 habitantes	80
3.23. Diseño de un pozo de absorción para descarga final	82
CAPÍTULO IV.....	83
4. Evaluación de impactos ambientales	83
4.1. Aspectos conceptuales	83
4.1.1. Evaluación del impacto ambiental (EIA)	83
4.1.2. Definición de evaluación del impacto ambiental	83
4.1.3. Estudio de impacto ambiental.....	84
4.1.4. Proceso de la evaluación del impacto ambiental	85

4.1.4.1.	Definición del proceso del EIA	85
4.1.4.2.	Estructura conceptual del proceso de EIA.....	86
4.1.4.3.	Objetivo del proceso de EIA	87
4.1.4.3.	Esquema general del proceso de la EIA	89
4.1.5.	Etapa 1: Identificación y clasificación ambiental.....	91
4.1.5.1.	Resultados de la etapa.....	91
4.1.6.	Etapa 2: Preparación y análisis.....	91
4.1.6.1.	Resultados de esta etapa	93
4.1.7.	Etapa 3: Calificación y decisión	94
4.1.7.1.	Resultado de la etapa	95
4.2.	Tipología de las evaluaciones de impacto ambiental.....	96
4.3.	Importancia de los estudios de impacto ambiental	97
4.4.	Limitaciones de los estudios de impacto ambiental.....	99
4.5.	Temas claves de un estudio de impacto ambiental	100
4.5.1.	<i>Descripción del ambiente y de la acción</i>	100
4.5.2.	<i>Pronóstico y análisis de impactos ambientales</i>	101
4.5.3.	<i>Mitigación, compensación y seguimiento de impactos negativos significativos</i>	102
4.6.	Contenidos de los estudios de impacto ambiental	104
4.6.1.	Contenidos genéricos de un estudio de impacto ambiental.....	105
4.7.	La elaboración de un estudio de impacto ambiental.....	108
4.7.1.	<i>Descripción del proyecto a actividad a realizar</i>	108
4.7.2.	<i>Desglose del proyecto o actividad en sus partes elementales</i>	108
4.7.3.	<i>Descripción del estado que caracteriza al ambiente, previo al establecimiento del proyecto</i>	108
4.7.4.	<i>Elementos más significativos del ambiente</i>	108
4.7.5.	<i>Ámbito de aplicación del estudio del impacto ambiental</i>	108
4.7.6.	<i>Identificación de impactos</i>	109
4.7.7.	<i>Alternativas</i>	109
4.7.8.	<i>Identificación de medidas de mitigación.</i>	109
4.7.9.	<i>Valoración de impactos residuales</i>	109
4.7.10.	<i>Plan de vigilancia y control ambiental</i>	109
4.8.	Análisis de los impactos ambientales	110
4.9.	Caracterización y clasificación de los impactos ambientales	110
4.9.1.	Características de los impactos.....	112
4.9.2.	Clasificación de impactos.....	112
4.10.	Metodología para la realización de la valoración de impactos	115
4.11.	Principales métodos para la identificación de impactos ambientales	116
4.12.	Metodologías más usuales.....	117
4.12.1.	Matrices causa-efecto.	118

4.12.2.	Lista de chequeo	118
4.12.3.	Sistemas de interacciones o redes.....	118
4.12.4.	Sistemas cartográficos	118
4.12.5.	Análisis de sistemas.....	118
4.12.6.	Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación	119
4.12.7.	Métodos cuantitativos.....	119
4.12.8.	Métodos de simulación.....	119
4.13.	Valoración de los impactos ambientales. Criterios usados	119
4.14.	Marco de aplicación	121
4.14.1.	La matriz de importancia de impactos ambientales.....	121
4.14.2.	Elemento tipo de la matriz de importancia.....	121
4.14.2.1.	Signo	123
4.14.2.2.	Intensidad.....	123
4.14.2.3.	Extensión	123
4.14.2.4.	Momento	124
4.14.2.5.	Persistencia	125
4.14.2.6.	La persistencia.	125
4.14.2.7.	Reversibilidad	125
4.14.2.8.	Recuperabilidad	126
4.14.2.9.	Sinergia	126
4.14.2.10.	Acumulación.....	127
4.14.2.11.	Efecto	127
4.14.2.12.	Periodicidad	127
4.15.	Importancia del impacto.....	128
4.16.	Medidas correctoras y compensatorias	130
4.17.	Valoración cualitativa	132
4.18.	Plan de manejo ambiental	133
4.18.1.	Características y contenidos del plan de manejo ambiental	133
4.19.	Contenidos del plan de manejo ambiental.....	135
4.19.1.	Plan de prevención y reducción de la contaminación ambiental.....	135
4.19.2.	Plan de mitigación	136
4.19.3.	Plan de medidas compensatorias	136
4.19.4.	Plan de contingencias y riesgos	136
4.19.5.	Plan de seguridad industrial y salud ocupacional.....	137
4.19.6.	Plan de comunicación, capacitación y educación.....	137
4.19.7.	Plan de monitoreo.....	137
4.19.8.	Plan de seguimiento, educación y control	137
4.19.9.	Plan de abandono.....	138

<i>CAPÍTULO V</i>	<i>139</i>
<i>CONCLUSIONES</i>	<i>139</i>
<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>140</i>
<i>GLOSARIO</i>	<i>141</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>147</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>151</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Planos Constructivos

ANEXO 1: Tanque séptico para el tratamiento de agua servidas para población de 1000 habitantes	152
ANEXO 2: Tanque séptico para el tratamiento de agua servidas para población de 2000 habitantes	153
ANEXO 3: Tanque séptico para el tratamiento de agua servidas para población de 3000 habitantes	154
ANEXO 4: Dimensiones del humedal para población de 1000 habitantes	155
ANEXO 5: Dimensiones del humedal para población de 2000 habitantes	156
ANEXO 6: Dimensiones del humedal para población de 3000 habitantes	157
ANEXO 7: Planta de campo de absorción implantado luego del humedal para 1000 habitantes	158
ANEXO 8: Planta de campo de absorción implantado luego del humedal para 2000 habitantes	159
ANEXO 9: Planta de campo de absorción implantado luego del humedal para 3000 habitantes	160

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 10: Corte del campo de absorción luego del humedal.....	161
ANEXO 11: Dimensiones de tanque séptico para 1000 habitantes	162
ANEXO 12: Dimensiones de tanque séptico para 2000 habitantes	163
ANEXO 13: Dimensiones de tanque séptico para 3000 habitantes	164
ANEXO 14: La Matriz de Importancia de Impactos Ambientales	165
ANEXO 15: Presupuesto Referencial para prototipos de 1000, 2000 y 3000 habitantes.....	166

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes.....	12
TABLA 2: Principales contaminantes del medio y sus posibles efectos.....	24
TABLA 3: Clasificación por tamaño de las partículas presentes en el agua.....	25
TABLA 4: Composición típica de aguas residuales doméstica.....	28
TABLA 5: Constituyentes orgánicos en las aguas residuales domésticas.....	29
TABLA 6: Normativa ecuatoriana aplicable a la regulación de tratamiento de aguas....	38-39-40
TABLA 7: Normas generales para descarga de efluentes: tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua.....	41-42
TABLA 8: Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado..... público.....	43
TABLA 9: Normativa ecuatoriana aplicable a la regulación de tratamiento de aguas	44-45
TABLA 10: Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales	47
TABLA 11: Dimensionamiento biológico.....	68
TABLA 12: El tiempo medio de retención hidráulico.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 13: Dimensionamiento hidráulico.....	72
TABLA 14: Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido de flujo subsuperficial.....	73
TABLA 15: Parámetros ambientales.....	96
TABLA 16: Tipología de las evaluaciones de impacto ambiental.....	97
TABLA 17: Clasificación de impactos.....	112-115
TABLA 18: Valoración de los impactos ambientales. Criterios usados.....	120
TABLA 19: Valoración de impactos.....	120
TABLA 20: Relaciones que caracterizan el impacto ambiental.....	122
TABLA 21: Datos básicos para la valoración de impactos ambientales.....	129
TABLA 22: Contenidos del plan de manejo ambiental.....	135

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Tipos de fitoremediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre proceso.....	11
FIGURA 2: Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal.....	48
FIGURA 3: Dibujo esquemático del carrizo.....	51
FIGURA 4: Características de las especies vegetales más utilizadas en humedales artificiales.....	54
FIGURA 5: Evolución de la concentración de materia en suspensión a lo largo de un humedal de flujo horizontal.....	56
FIGURA 6: Esquema simplificado de los procesos que intervienen en la degradación de la materia orgánica en los humedales.....	57
FIGURA 7: Estructura conceptual del Proceso de EIA.....	86
FIGURA 8: Esquema general del proceso de la EIA.....	90

RESUMEN

En la presente disertación de grado se presenta una alternativa para tratamiento de las aguas servidas para comunidades rurales de 1000, 2000 y 3000 habitantes que podrían ser implementadas en comunidades localizadas en la Serranía Ecuatoriana.

El tratamiento de aguas residuales mediante humedales construidos es un sistema de tratamiento que promueve el uso sostenible de recursos hídricos de tal manera que permite aprovechar los nutrientes de las aguas residuales para el crecimiento de plantas emergentes que tienen un potencial económico y logran producir un efluente que puede ser utilizado sin contaminar el ambiente.

El tratamiento de las aguas servidas comprende un tanque séptico en donde reciben el tratamiento primario, seguido del humedal de flujo horizontal en donde reciben el tratamiento secundario y finalmente el efluente del humedal pasa a los pozos de absorción aprovechando las características de los suelos que se tienen la Serranía Ecuatoriana.

La utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas servidas es de gran interés en la actualidad ya que la demanda de agua es cada vez mayor, desde este punto de vista y teniendo en cuenta que la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales es muy costosa, es importante buscar alternativas que permitan el tratamiento de dichas aguas y que reduzcan los costos.

Es importante resaltar esta metodología de tratamiento puesto que es amigable con el ambiente y contribuye en el paisajismo de la zona de donde se vaya a implementar este proyecto. En este trabajo también se realizó la evaluación del impacto ambiental de los prototipos mencionados.

Palabras Clave: Tratamiento de humedales artificiales, tanque séptico y pozos de absorción.

ABSTRACT

An alternative for wastewater treatment for rural communities in 1000, 2000 and 3000 inhabitants that could be implemented in communities located in the Ecuadorian highlands is presented in this degree dissertation.

The wastewater treatment using constructed wetlands is a treatment system that promotes sustainable use of water resources in a way that takes advantage of the nutrients in the wastewater for growth of emergent plants that have economic potential and fail to produce an effluent can be used without polluting the environment.

The wastewater treatment comprises a septic tank where they receive primary treatment, followed by horizontal flow wetland where they receive secondary treatment and finally the wetland effluent passes soak pits exploiting the characteristics of soils that have the Ecuadorian highlands.

The use of constructed wetlands for wastewater treatment is of great interest today as the demand for water is increasing, from this point of view and taking into account that the construction of treatment plants, wastewater is very costly, it is important to seek alternatives to the treatment of such water and reduce costs.

It is important to stand out this method of treatment because it is environmentally friendly and helps in the landscaping of the area where you plan to implement this project. This work was also conducted environmental impact assessment of the prototypes mentioned.

Keywords: Treatment wetlands, septic tank and soak pits.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua ha sido, desde su formación, un elemento indispensable para los seres vivos, fuente y sustento de vida, base del desarrollo de muchas de las actividades más importantes para el ser humano, ya que todas las especies que habitan el planeta, el hombre es el mayor consumidor de este recurso.

A medida que la población humana aumenta, la demanda y uso de este recurso se ha vuelto desordenada e insostenible. Aunque la cantidad de agua existente ha sido la misma desde su origen, el que sea destinado a múltiples actividades trae como consecuencia su contaminación con diversas sustancias, es por esto que la cantidad de agua disponible para consumo va en disminución. A estas aguas desechadas se les denomina aguas residuales. (Romero Aguilar Mariana, Colín Cruz Arturo, Sánchez Enrique, 2009).

La depuración de las aguas residuales domésticas es uno de los retos ecológicos más importantes hoy en día. La denominada "fitodepuración" (*phyto* = planta, *depurare* = limpiar, purificar) se entiende como la reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, por medio de una serie de complejos procesos biológicos y fisicoquímicos en los que participan las plantas del propio ecosistema acuático. La fitodepuración ocurre naturalmente en los ecosistemas que reciben aguas contaminadas y, junto a la denominada autodepuración de las aguas, ha sido el procedimiento clásico de recuperación de la calidad del agua. Este proceso ocurre tanto en humedales naturales como en humedales artificiales creados por el hombre. (María Dolores Curt Fernández de la Mora, 2010)

En esta disertación de tesis se presenta la metodología de cálculo de un sistema de humedal artificial de flujo horizontal. Existen una serie de plantas acuáticas que ejercen una depuración directa de sustancias contaminantes, como nitratos y fosfatos, o microorganismos patógenos. Los carrizos, juncos, enneas o esparganios son plantas acuáticas de los humedales capaces de degradar la materia orgánica del entorno.

No obstante, a pesar de su poder depurador, los expertos no aconsejan el tratamiento de aguas residuales mediante humedales naturales, debido a su grave impacto ambiental y a la posibilidad de contaminar los acuíferos y ecosistemas circundantes. Por ello, los científicos han desarrollado humedales artificiales, que reproducen el ecosistema de un humedal natural pero acelerando los procesos físicos, químicos y biológicos para el tratamiento de las aguas residuales. Los *humedales artificiales* suelen consistir en estanques o canales de poca profundidad, normalmente de menos de un metro, donde se ubican las especies vegetales acuáticas encargadas de los procesos naturales de depuración. Estas instalaciones cuentan además con canalizaciones y sistemas de aislamiento del suelo para no contaminar los ecosistemas adyacentes. (Humedales artificiales, 2009)

Las ventajas de los humedales artificiales son diversas, entre las cuales se pueden citar integración en el ambiente de manera natural, por lo que su impacto visual es bajo; capacidad depuradora eficaz de aguas residuales con contaminación principalmente orgánica; así como costos bajos y un mantenimiento sencillo. Su uso es especialmente adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones de hasta 5000 habitantes, que suelen ofrecer un bajo costo del terreno y mano de obra poco tecnificada.

Así mismo, el aumento de estos sistemas naturales de depuración puede dar lugar a una importante actividad agrícola futura, basada en el desarrollo de cultivos específicos de este tipo de plantas.

Los humedales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o tipo de vegetación presente. La mayoría de los humedales naturales son sistemas de flujo superficial en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera; estos incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), las zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y plantas macrófitas emergentes). (Humedales artificiales, 2009)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El manejo de los procesos que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales ha sido un problema a través del tiempo al no tener claro el tipo de tecnología o de equipo que se necesita en determinado territorio, ya que no se tiene en cuenta la zona, la actividad económica, la situación financiera de las poblaciones rurales que se localizan en la Serranía Ecuatoriana y no se le da la suficiente capacitación a la comunidad para seguir con el mantenimiento de esta técnica.

Los gobiernos nacionales, locales y las personas o entes privados ven la necesidad de incorporar en una determinada comunidad un tipo de tratamiento, debido a los problemas que se generan con las aguas residuales y así, evitan problemas de Salud Pública, Ambientales u otros; todo esto sin tener en cuenta la cantidad de personas que allí habitan, el tipo de terreno, la capacidad que tiene esta comunidad de apropiarse de dicho sistema y a la vez realizarle un mantenimiento adecuado para evitar futuros problemas de contaminación, ya sea de fuentes de agua superficiales, subterráneas, de suelos y del entorno, generando grandes complicaciones en la salud de la población. (Hrudey, 2004)

El tratamiento de las aguas residuales es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues éstas configuran un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de las mismas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera grandes impactos a la población y la economía de los países. (Water, 2004)

3. JUSTIFICACIÓN

La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo, un ejemplo de ello es que, hasta fines del siglo XIX no se reconocía el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. (Zambrano Xavier, Xavier Saltos y Franklin Villamar, s.f.)

El vertimiento de aguas residuales al ambiente sin ningún tipo de tratamiento previo, trae como consecuencia que la disponibilidad de este recurso se haga cada vez menor,

agotando las fuentes de suministro. Este tipo de descargas también provocan la contaminación de los ecosistemas de donde se depositan, afectando a las formas de vida que en ellos habitan (incluido el ser humano), así como al suelo, agua y aire.

Cuando las aguas residuales de tipo doméstico llegan a los ríos o cuerpos de agua sin ningún tratamiento o desinfección contaminan con altas concentraciones de bacterias, virus y parásitos creándose un grave problema de salud pública. Entre las principales enfermedades que se propagan por este mal manejo de las aguas residuales están las diarreas (bacterianas y víricas), la fiebre tifoidea y la paratifoidea, el cólera, la hepatitis infecciosa, la amibiasis, giardiasis, entre otras. (Humedales artificiales, 2009)

Las enfermedades de origen hídrico son causadas debido a la contaminación de las aguas con estos microorganismos patógenos o por sustancias químicas. Estos agentes son transmitidos directamente a las personas cuando el agua contaminada es usada para tomar, preparar alimentos, con fines recreativos u otros propósitos domésticos.

Por lo mencionado anteriormente se justifica el desarrollo de este tema de tesis debido a que con la futura implementación de los mismos en las zonas rurales de nuestra serranía ecuatoriana estaremos contribuyendo a la mitigación del problema. Adicionalmente podemos mencionar que el entorno paisajístico mejorará ostensiblemente y los recursos naturales serán sustentados para las futuras generaciones.

En nuestro país y especialmente en la Serranía Ecuatoriana el problema de la contaminación de las fuentes de agua por el vertimiento de aguas residuales es cada vez mayor además de la baja cobertura en el tratamiento y el abandono de los sistemas implementados. Es prioritario entonces desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y así mismo disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones 1000, 2000 y 3000 habitantes del medio rural mediante tanques sépticos, humedal artificial y pozos de absorción.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Determinar las ventajas de los humedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- ✓ Presentar la metodología de cálculo de los humedales para el número de pobladores propuesto.
- ✓ Generar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones.
- ✓ Obtener el presupuesto referencial de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción.
- ✓ Obtener la Matriz de Importancia de Impactos Ambientales.

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO

La Región Interandina del Ecuador es una de las cuatro regiones naturales de dicho país, comúnmente conocido como Sierra. Tiene sus orígenes en las culturas Incaicas y pre-incaicas que fueron enfrentadas en su tiempo con la conquista española. La serranía ecuatoriana se extiende por los Andes que atraviesan de norte a sur al Ecuador. Está conformada por las provincias Pichincha, Carchi, Tungurahua, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja, Imbabura, Bolívar y Cotopaxi. (Lola Vásquez, Napoleón Saltos, 2008)

Esta región se caracteriza por sus impresionantes elevaciones montañosas, volcanes y nevados. Entre los más importantes están el Cotopaxi y el Chimborazo. Sus 10 provincias cuentan con ciudades de gran importancia histórica. Igualmente, existen

varios parques nacionales con flora y fauna muy ricas y variadas. En esta región coexisten zonas calientes, templadas y frías. Su región interandina presenta valles de diferentes altitudes y climas.

5.1. Geografía

En la región interandina o sierra se encuentra la Cordillera de los Andes, y la atraviesa de Norte a Sur. Entre la cordillera occidental y oriental se encuentra una depresión que es el callejón interandino. (Lola Vásquez, Napoleón Saltos, 2008)

En este se fueron sedimentando los productos de la erosión de las dos cadenas montañosas y la materia volcánica que arrojaron los volcanes. Donde estos materiales se acumularon más, se formaron elevaciones o nudos que unieron las dos cordilleras. (Lola Vásquez, Napoleón Saltos, 2008)

Los nudos dividieron a esta región de trecho en trecho, a manera de una gigantesca escalera formando las hoyas o cuencas. Cada hoya tiene su río principal y una ciudad importante.

Se pueden encontrar volcanes y nevados que superan los 5.000 metros de altura, que cuentan con accesos adecuados, refugios de alta montaña y servicios especializados tales como: el Cotopaxi, Cayambe, Antisana, Tungurahua, Altar y Sangay, están ya inscritos en el ámbito internacional además del Chimborazo, la cumbre más alta del país. (Lola Vásquez, Napoleón Saltos, 2008)

6. GENERALIDADES

Los humedales artificiales son los estanques, sitios de represamiento de agua destinados a ciertas actividades como las piscinas de tratamiento de agua potable. La función ecológica más notoria es la provisión de agua a plantas y animales, incluido el ser humano. Todas las poblaciones humanas del Ecuador reciben agua de ríos, lagunas y vertientes subterráneas. (Melissa Moreano , s.f.)

Las otras funciones ecológicas son, a menudo, poco obvias. Una de las menos visibles es la de recargar y descargar acuíferos. El humedal es un depósito de agua en contacto con un suelo permeable en mayor o menor grado, por lo que el agua se filtra hacia un acuífero subterráneo, para brotar luego naturalmente a otro acuífero; así, la descarga de un humedal está asociada a la recarga de otro. (Melissa Moreano , s.f.)

El agua que se filtra a través del suelo se va limpiando, por lo que luego se la puede extraer para uso humano. En nuestro país la cultura Palta, en Loja, recreaba humedales para recargar acuíferos, con el fin de almacenar agua para tiempos de escasez, de purificarla y de controlar posibles inundaciones. (Melissa Moreano , s.f.).

Los humedales acumulan sedimentos gracias en gran parte a su vegetación, que reduce el caudal del agua facilitando la sedimentación, lo cual tiene dos funciones: son un reservorio importante de nutrientes y purifican el agua al retener sedimentos contaminantes. Un humedal con alta presencia de sedimentos nutritivos es un humedal *productivo*. Numerosas especies de peces e invertebrados utilizan los humedales en ciertas fases de su desarrollo, cuando necesitan tener alimento seguro y abundante. Ellos atraen a aves, que llegan a comerlos a su vez. Así, el humedal se vuelve un refugio de biodiversidad y un purificador de agua. (Humedales artificiales, 2009)

Los sedimentos contaminantes pueden afectar el funcionamiento del humedal y la calidad del agua, pero en la mayoría de casos, si se detiene la contaminación, los seres vivos dentro del humedal pueden literalmente “comer” los contaminantes orgánicos y descomponerlos a formas no dañinas, revirtiendo cualquier proceso de degradación ambiental. Esta propiedad es la que se potencia al utilizar piscinas de tratamiento de desechos orgánicos llenas de especies vegetales con alta capacidad para “comer” sedimentos contaminantes. (Melissa Moreano , s.f.).

Por el contrario, los organismos vivos tienen una capacidad muy limitada de descomponer sustancias inorgánicas, por lo que un proceso de contaminación con estas sustancias es difícilmente revertido. (Melissa Moreano , s.f.)

El mayor peligro está en que las los organismos del humedal absorben los sedimentos, que se acumulan en su interior alcanzando niveles tóxicos; al mismo tiempo, los integran a la cadena trófica, expandiendo la toxicidad hacia los organismos superiores. (Humedales artificiales, 2009)

Los humedales también pueden purificar el agua mediante la oxigenación. Un río, por ejemplo, con cada golpe o caída, provoca el ingreso de oxígeno al agua. (Melissa Moreano , s.f.).

Muchas aves migratorias boreales (que viene del norte) o australes (que vienen del sur), se detiene en los humedales para descansar y tomar fuerzas para continuar su viaje. Las lagunas costeras y en las lagunas de páramo reciben todos los años cientos de aves migratorias. Los cuerpos de agua aportan en el control del clima a nivel local, por el aporte de vapor de agua a través de la evapotranspiración, que se eleva y cae de nuevo en forma de lluvia. (Melissa Moreano , s.f.)

7. VENTAJAS:

1. Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas.
2. Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
3. Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

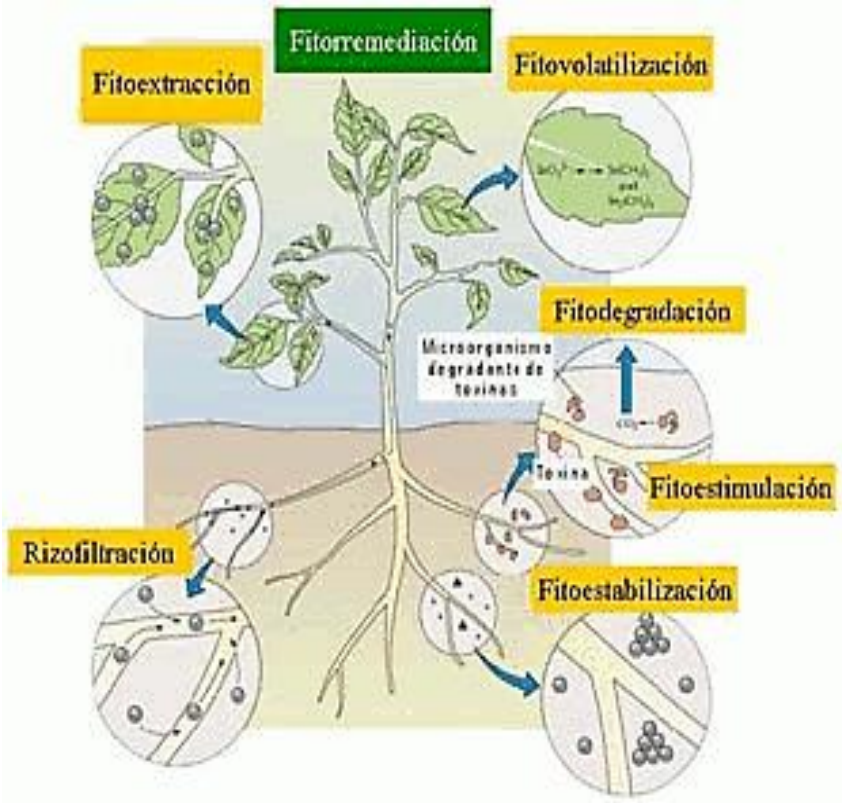
8. LIMITACIONES:

1. El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
2. Los tiempos de proceso pueden ser largos.
3. La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante en la captación.

Las plantas pueden incorporar las sustancias contaminantes mediante distintos procesos que se representan en la siguiente ilustración y se explican en la tabla que continúa:

FIGURA 1

Tipos de fitorremediación, en donde se indica la zona de la planta en donde ocurre el proceso.



Fuente: Cristian Frers

TABLA 1**Procesos utilizados por las plantas para asimilar contaminantes**

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces).	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc.
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos.
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos).	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc.
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano).
Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (<u>TNT</u> , <u>DNT</u> , <u>RDX</u> , nitrobenceno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, <u>DDT</u> , pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.

Fuente: Cristian Frers

9. FUNCIONES DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Las actividades humanas han dado y siguen dando origen a varios tipos de humedales de interés para algunas especies vegetales.

9.1. Procesos de remoción físicos:

Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado.

9.2. Procesos de remoción biológicos:

La remoción biológica es quizá el camino más importante para la remoción de contaminantes en los humedales artificiales. Extensamente reconocido para la remoción de contaminantes en los estos humedales es la captación de la planta. Los contaminantes que son también formas de nutrientes esenciales para las plantas, tales como nitrato, amonio y fosfato, son tomados fácilmente por las plantas del estos humedales.

9.3. Procesos de remoción químicos:

El proceso químico más importante de la remoción de suelos de los humedales artificiales es la absorción, que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

10. VEGETACIÓN PARA HUMEDALES EN EL ECUADOR

En nuestro país los recursos naturales son abundantes y la utilización de ellos es amplia y variada. Es así que ancestralmente han sido utilizados por varias generaciones de ecuatorianos para distintas aplicaciones y usos.

La totora es uno de los recursos que el Ecuador posee en gran cantidad, la zona andina está cubierta de esta planta, que los antiguos pobladores de la serranía ecuatoriana, es

decir, los indígenas, la han sabido utilizar en diferentes actividades, desde utensilios de cocina hasta embarcaciones aptas para la navegación. La habilidad de los antiguos indígenas ecuatorianos, junto con su situación social en cuanto a las comodidades tecnológicas que se iban desarrollando, conforme lo demandaba la comunidad, hizo de la totora un artículo muy importante en el entorno social, económico y hasta político de estas comunidades. (Totoras , 2011)

La totora es una planta (junco) acuática, muy antigua, sus registros de uso datan desde hace 8.000 años antes de Cristo y se intensifica su uso a partir de los 800 años después de Cristo, en artículos de cestería para almacenar y recoger productos del campo y hacer diferentes artículos de uso doméstico, entre ellos la tradicional estera que es un tejido de tallos de totora que dan la forma de un tapete usado en múltiples formas, desde cama de dormir hasta elemento decorativo de interiores. (Totoras , 2011)

Como por ejemplo en el Ecuador, en la Provincia de Imbabura la totora se encuentra en los lagos de Imbakucha y Yahuarcocha, y son aproximadamente 3.000 familias que dependen del cultivo de esta planta y sus artesanías. (Totoras , 2011)

La planta de totora es una excelente aliada para los peces porque le sirve para ocultarse y depositar sus huevos. Además purifica el agua contaminada y protege la erosión al suelo de las orillas del lago, las aves hacen sus nidos en los totorales ya que es un medio propicio para su protección.

Es común encontrar esta planta, a lo largo de las costas del Atlántico y del Pacífico; desde California hasta Chile y Argentina en América, por tal razón nombre científico es “*Schenoplectus Californicus*”, ésta planta muy legendaria crea un ecosistema útil para el ser humano y el ambiente. (Totoras , 2011).

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DEFINICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original. (TULAS, RO: 31 de Marzo del 2003).

2.1.1. Aguas negras: Son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de los líquidos o desechos por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que puedan agregarse. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.1.2. Volumen.- La cantidad o volumen de aguas negras que se produzcan varía de acuerdo con la población y depende de muy diversos factores. Un municipio exclusivamente residencial que tenga alcantarillas bien construidas a las que entre el agua de precipitaciones pluviales, puede producir unos 160 litros por persona y por día, mientras que una población industrial o que tenga un gasto de agua para usos domésticos muy alto, podrá producir unos 800 litros o más por persona y por día. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.2. ORIGEN DE LAS AGUAS NEGRAS Y DE LOS DESECHOS

Las aguas negras pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales.
- b) Desperdicios caseros.
- c) Corrientes pluviales.
- d) Infiltraciones de aguas subterráneas.
- e) Desechos industriales.

- a) ***Desechos humanos y animales*** “Son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas negras, mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en la calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas negras para su disposición”.(Hernán E. Hilleboe, 1980).
- b) ***Desperdicios caseros*** “Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen espumantes y que son de uso común en las labores domésticas. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que, con el uso cada vez mayor de aparatos domésticos para moler basura, se están convirtiendo en la parte más importante de los desechos caseros”. (Hernan E. Hilleboe, 1980)
- c) ***Aguas de lavado de las calles y corrientes pluviales*** “Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella en la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos escurrimientos pluviales vayan al alcantarillado o drenajes que sirven para coleccionar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante de las aguas negras. En otras, se coleccionan aparte estos escurrimientos para su disposición y no se mezclan con las aguas negras de la comunidad. El

volumen de las corrientes pluviales varía según la intensidad de la precipitación, la topografía y las superficies pavimentadas y techadas. Las aguas pluviales provenientes de zonas cubiertas, tienen importancia especial en lo que respecta al volumen de aguas negras que van a tratarse, cuando se conectan a las alcantarillas, de las que se supone deben excluirse”. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

- d) ***Infiltraciones de aguas subterráneas.*** El drenaje o alcantarillado que es el dispositivo para colectar las aguas negras, va soterrado, y en muchas ocasiones queda debajo del nivel de los mantos de agua subterráneos, especialmente cuando dicho nivel es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tubería que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, sino que son siempre considerables. El volumen de agua subterránea que se infiltra no puede determinarse con exactitud, porque depende de la estructura del suelo, del tipo de alcantarilla que se haya construido, de las condiciones del agua subterránea, de las lluvias y de otras condiciones climatológicas. (Hernan E. Hilleboe, 1980).
- e) ***Desechos industriales.*** “Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas negras de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. En muchas regiones se colectan los desechos industriales junto con los otros componentes de las aguas negras de la población para su tratamiento y eliminación finales. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues dependen de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad”. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumosos o espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas negras de la comunidad, o que dañan las alcantarillas y otras estructuras.

“Por esta razón no pueden agregarse directamente a las aguas negras, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado”. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.3. FUENTES DE AGUAS RESIDUALES

En realidad no existen clases definidas de aguas residuales, sino más bien, de acuerdo al estudio que se está realizando, se pueden clasificarlas basándose en un parámetro específico. A continuación tenemos la clasificación de las aguas residuales (Jairo Alberto Romero Rojas, Febrero de 2004):

- 2.3.1. *Aguas Residuales Domésticas (ARD)*: líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales.
- 2.3.2. *Aguas Residuales Municipales*: residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.
- 2.3.4. *Aguas Residuales Industriales*: líquidos provenientes de las descargas de industrias de manufactura.
- 2.3.5. *Aguas Negras*: líquidos provenientes de inodoros; transportan excrementos humanos y orinas, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- 2.3.6. *Aguas Grises*: líquidos provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales.

Además de estos grupos, las aguas residuales también provienen de escorrentías de usos agrícolas y pluviales.

Las escorrentías de usos agrícolas arrastran con ellas fertilizantes (fosfatos) y pesticidas. Las aguas pluviales en zonas urbanas pueden tener efectos contaminantes significativos.

2.4. LOS SÓLIDOS DE LAS AGUAS NEGRAS

Los sólidos de las aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Tenemos así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos y disueltos. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.4.1. Definiciones de los sólidos de las aguas negras

2.4.1.1. Sólidos orgánicos. En general son los de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales: pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinados algunos con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por actividad de las bacterias y otros organismos vivos: además son combustibles, es decir, pueden ser quemados. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.4.1.2. Sólidos inorgánicos. Son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación, ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno, y sales minerales del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral. Por lo general, no son combustibles. La cantidad de sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, en las aguas negras, les dan lo que frecuentemente se conoce como su *fuerza*. En realidad, la cantidad o concentración de sólidos orgánicos, así como su capacidad para degradarse o descomponerse, son la parte principal de la fuerza de un agua negra. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde mayor fuerza de las aguas negras. Por lo tanto se puede definir que las *aguas negras fuertes* son las que contienen gran cantidad de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos y las *aguas negras débiles* las que contienen pequeñas cantidades de sólidos orgánicos. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

Como se ha hecho notar, los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo con su condición física, como sólidos suspendidos, sólidos coloidales y sólidos disueltos, incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

2.4.1.3. Sólidos suspendidos. Son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Son los sólidos que pueden separarse del agua negra por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración.

Se definen más exactamente como los sólidos que quedan retenidos por la capa filtrante, de asbesto, en un crisol Gooch. Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos, siendo la mayor parte de esta última arena y polvos. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

Los sólidos suspendidos se dividen en dos partes: sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

2.4.1.4. Sólidos sedimentables. Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un período determinado, que generalmente es de una hora. Debe entenderse que son los sólidos que se sedimentan en una hora en un cono de Imhoff. Generalmente el resultado se expresa en mililitros de sólidos por litro de aguas negras, pero también se da en partes por millón, en peso. Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y 25 de inorgánicos. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.4.1.5. *Sólidos coloidales suspendidos*. Se definen algo indirectamente como la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentables. Una parte se sedimentan si el período de reposo en la prueba del cono de Imhoff fuese mayor de una hora; pero la mayor parte permanecería en suspensión durante períodos mayores, de varios días o más. Constituyen la fracción de los sólidos suspendidos totales (cerca del 40 por ciento) que no pueden eliminarse fácilmente recurriendo a tratamientos físicos o mecánicos, pero no pasan por la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

Su composición es orgánica en unas dos terceras partes, e inorgánicas en el resto están sujetas a una rápida degradación y son un factor importante en el tratamiento y disposición de las aguas negras.

2.4.1.6. *Sólidos disueltos*. El término “sólidos disueltos”, utilizado ordinariamente en los estudios de aguas negras, no es técnicamente correcto. No todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen sólidos en estado coloidal. De acuerdo con la costumbre, el término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento en estado coloidal. En total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por 40 por ciento de orgánicos y 60 por ciento de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta, debido a que esta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.4.1.7. *Sólidos totales*. Como lo indica el mismo término, bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

En las aguas negras domésticas de composición media, cerca de la mitad son orgánicas y la otra mitad inorgánicas y aproximadamente unas dos terceras partes

están en solución y una tercera parte en suspensión. En esa mitad orgánica de los sólidos sujeta a degradación la que constituye el problema principal del tratamiento de las aguas negras. De manera similar, la introducción de desechos industriales puede aumentar el contenido de sólidos, especialmente de sólidos orgánicos, con variaciones muy definidas en la fuerza de las aguas negras. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

También debe notarse que las aguas negras varían grandemente, tanto en composición como en volumen, de hora en hora, de acuerdo con las actividades de la comunidad. Evidentemente que las aguas negras tendrán su fuerza y volumen máximos durante el día y mínimo durante la noche. Igualmente varía la composición de las aguas negras de día a día de acuerdo con la clase de actividades industriales y las de la comunidad donde se originan. Durante los domingos, los fines de semana y los días de fiesta, se reducen frecuentemente los volúmenes y fuerza debido a la menor actividad de la población. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.5. GASES DISUELTOS

Las aguas negras contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos, entre los gases más importantes está el oxígeno, presente en el agua original del abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire, las aguas negras que fluyen. Este oxígeno, que familiarmente se conoce como oxígeno disuelto, es un componente sumamente importante de las aguas negras. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

Además del oxígeno disuelto, las aguas negras pueden contener otros gases, como el *bióxido de carbono*, que resulta de la descomposición de la materia orgánica; el *nitrógeno* disuelto de la atmósfera; el *ácido sulfhídrico* que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre.

Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas negras e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento.

2.5.1. Líquidos volátiles. Las aguas negras pueden contener líquidos volátiles. Por lo general se trata de líquidos que hierven a menos de 100 grados centígrados (212 Fahrenheit), como, por ejemplo, la gasolina. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

2.6. CONTAMINACIÓN

En sentido amplio puede decirse que contaminación es la permanencia de cualquier impureza material o energética (como ruido o radiación) en un medio a niveles superiores a los normales. La contaminación ambiental es la contaminación de los medios naturales con tal magnitud que puede resultar perjudicial para personas, animales, plantas u objetos y produce, por tanto, un deterioro en la calidad de la vida. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

De esta forma, contaminante, puede considerarse a cualquier sustancia no deseada que está presente en un medio impidiendo o perturbando la vida de los organismos y/o produciendo efectos nocivos a los materiales y al propio ambiente. En función de la naturaleza del medio, el contaminante pasará a denominarse: contaminante atmosférico, contaminante acuoso, contaminante del suelo, contaminante acústico, etc. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

No siempre los contaminantes subsisten sin cambios y con idéntica composición a la de cuando fueron emitidos al medio, así, como los contaminantes pueden clasificarse en contaminantes primarios que son aquellos que se emiten directamente por una fuente y contaminantes secundarios que son aquellos que se producen en el medio receptor como consecuencia de radiaciones químicas o de operaciones físicas, a partir de contaminantes primarios u otras sustancias presentes en el medio receptor. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.7. PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL MEDIO Y SUS POSIBLES EFECTOS

TABLA 2

Principales contaminantes del medio y sus posibles efectos

Contaminantes del agua y los alimentos	Posibles efectos sobre la salud
Bacterias	Infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas (fiebres tifoideas, cólera, shigelosis, salmonelosis, leptospirosis, etc.)
Virus	Infecciones víricas (hepatitis epidémicas, por ejemplo), posibles inflamaciones cutáneas y de los ojos, en los nadadores.
Protozoos y metazoos	Amebiasis, esquistosomiasis, hidatidosis y otras enfermedades parasitarias.
Metales	Intoxicaciones con plomo, con metilmercurio (ingerido con alimentos), con cadmio (ingerido con alimentos), con arsénico, etc.
Nitratos	Metahemoglobinemia infantil (alteraciones de la moléculas de hemoglobina)
Fluoruros	Moteado de los dientes en los casos de concentración excesiva.
Petróleo, fenoles, contaminantes sólidos en solución	Posibles trastornos digestivos y de otro tipo.

Fuente: (OMS) Organización Mundial de la Salud

Los contaminantes presentes en las aguas las hacen inadecuadas para el uso al que estaban destinados y reciben, entonces, el nombre de aguas contaminadas o aguas residuales. Las características de las aguas residuales pueden clasificarse en: físicas, químicas y biológicas. Estas características dependen de la composición, es decir del contenido de contaminantes.

2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El contenido total en sólidos (disueltos y en suspensión) es lo que confiere a las aguas sus propiedades físicas de color, olor y sabor. Otra de las características físicas más importantes es la temperatura. Los sólidos totales o residuo de evaporación pueden clasificarse en función de su tamaño en: materia disuelta, coloidal o en suspensión. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

TABLA 3

Clasificación por tamaño de las partículas presentes en el agua

	Disuelta	Coloidal	Suspensión	Sedimentable (suspensión)
Tamaño (µm)	<0.001	0.001 - 1	>1	>10

Fuente: (OMS) Organización Mundial de la Salud

Otra forma de clasificar los sólidos totales es hacerlo atendiendo a su origen orgánico o inorgánico. Los contaminantes orgánicos normalmente están un tercio disueltos, un tercio en forma coloidal y un tercio en suspensión mientras que los inorgánicos normalmente están disueltos. Los sólidos orgánicos reciben también el nombre de sólidos volátiles y los inorgánicos son denominados fijos.

Las aguas residuales domésticas tienen un color variable oscilando del gris al negro. El agua residual reciente suele ser gris y conforme los compuestos orgánicos se van descomponiendo el color pasa a negro. En aguas residuales industriales no puede hablarse de coloración típica. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

El olor se debe a la presencia de compuestos químicos generalmente producidos en la descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales domésticas tienen un olor peculiar que no suele ser muy desagradable pero cuando se descomponen aparecen diversos compuestos como ácido sulfhídrico, escatol, putrescina, cadaverina, etc., por lo que huelen fuertemente a podrido. Algunos olores se desarrollan como consecuencia del tratamiento depurador de las aguas (empleo de cloro y derivados). (Hernan E. Hilleboe, 1980)

El sabor está muy unido al olor. Por esto, las causas señaladas para el olor pueden aplicarse al sabor. Sin embargo, algunas sustancias inorgánicas disueltas pueden dar sabores sin olor (las sales de cobre, cinc y hierro pueden dar sabores metálico; los cloruros en concentraciones adecuadas dan sabor salado; los clorofenoles dan sabor antes de dar olor). (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

La temperatura del agua es un valor muy importante ya que influye en el desarrollo de la vida acuática, velocidades de reacciones químicas y solubilidades de oxígeno.

2.8. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Las características químicas de las aguas contaminadas se deben a la materia orgánica, inorgánica y gases.

Las impurezas de las aguas residuales urbanas (domésticas) son materias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión. Además de estas materias, hay que incluir los microorganismos que pueden degradar estas materias y provocar fermentaciones o descomposiciones. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Una de las características principales de un agua residual urbana es su biodegradabilidad (posibilidad de depuración con la ayuda de microorganismo) siempre que haya una presencia adecuada de nutrientes.

Mientras que todos los vertidos urbanos presentan impurezas orgánicas e inorgánicas cuya naturaleza y concentración son bastante similares de una comunidad a otra y, por tanto, sus líneas de tratamiento pueden ser análogas, los vertidos industriales son muy diversos debido a las diferentes actividades existentes en este sector. En este caso, se precisa una investigación particular de cada vertido para diseñar el esquema de tratamiento adecuado. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

La composición y volumen de las aguas residuales puede variar para un mismo núcleo de población o instalación industrial de hora a hora, de día a día y de año a año. Por tanto, con vistas a su tratamiento hay que tener siempre presente que el buen funcionamiento de una planta depuradora dependerá de la realización previa de un estudio minucioso tendente a tratar de evitar perturbaciones posteriores. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

La consideración de los criterios económicos permite afirmar que no hay un sistema de tratamiento que sea mejor que otro con carácter general sino que el mejor tratamiento, incluso la decisión de no tratar el agua siempre se pondrá en marcha como resultado de considerar en cada caso diversas alternativas viables y eligiendo entre ellas la de menor coste. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

TABLA: 4**Composición típica de aguas residuales domésticas**

Constituyente	Concentración (ppm)		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1200	700	350
Sólidos disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Materia decantable	20	10	5
DBO ₅	300	200	100
DQO	1000	500	250
Nitrógeno	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Aceites y grasas	150	100	50

Nota: ppm= partes por millón (mg/L o g/m³)

Fuente: (OMS) Organización Mundial de la Salud

En la tabla se presenta una composición típica de las aguas residuales domésticas. Los diferentes constituyentes viven representados por el valor de su concentración (cantidad total del mismo por unidad de volumen de agua residual). En el caso de las aguas residuales domésticas no se ha trabajado mucho con el intento de tratar de establecer una clasificación detallada de sustancias orgánicas que suelen estar presentes.

2.10. CONSTITUYENTES ORGÁNICOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

TABLA: 5

Constituyentes Orgánicos en las Aguas Residuales

Sustancia	Proporción de carbono orgánico en el efluente (%)
Hidratos de carbono	11-18
Proteínas	8-10
Aminoácidos	0.5-1.5
Ácidos grasos	23-25
Ácidos orgánicos disueltos	7-11
Lípidos	9-12
Tensoactivos	4-6
Otros	25-28

Fuente: (OMS) Organización Mundial de la Salud

2.11. PRINCIPALES COMPUESTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA

Los principales compuestos orgánicos son: proteínas, hidratos de carbono y lípidos. También pueden encontrarse una gran variedad de compuestos orgánicos sintéticos entre los que pueden destacarse: tensoactivos, fenoles y pesticidas.

Las proteínas están compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, este último en una proporción bastante elevada y constante (0.16). También pueden contener en su molécula azufre, fósforo y hierro. Tienen una estructura química compleja e inestable y están sometidas a variadas formas de descomposición. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Algunas son solubles en agua y otras no. La química de formación de proteínas supone la unión de un número elevado de aminoácidos. Las proteínas son los principales componentes del organismo animal. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los hidratos de carbono están ampliamente distribuidos por la naturaleza. Dentro de este número grupo de sustancias hay que destacar los azúcares, almidón y celulosa. Esta última es el hidrato de carbono más abundante en la naturaleza y es insoluble en el agua. La celulosa no tiene valor nutritivo para el hombre ya que en nuestro intestino no existen enzimas que puedan hidrolizarla. Su importancia industrial radica en que es base del papel, seda artificial y nitrocelulosa. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los lípidos son el tercer grupo de nutrientes de los alimentos. Se denominan aceites cuando son líquidos a temperatura ambiente y grasas cuando son sólidos. Están constituidos fundamentalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Los lípidos son compuestos bastante estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, si lo hacen por la acción de ácidos minerales dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso. Por otra parte, en presencia de álcalis, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos conocidas como jabones. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los agentes tensoactivos están formados por grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua que producen espumas. Estos agentes tienden a acumularse en la interfase aire-agua y durante la aireación se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando una espuma muy estable. Los detergentes sintéticos están formados principalmente por dos constituyentes que son el detergente propiamente dicho o agente tensoactivo y de otra parte el ayudante que es una mezcla de sales sódicas (fosfatos, carbonatos, sulfatos, silicatos, perboratos). (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los fenoles causan problemas de sabor en el agua, cuando esta clorada. Su presencia se debe, principalmente, a actividades industriales. Pueden ser biológicamente degradados hasta concentraciones de 500 mg/L.

La presencia de fenol en concentraciones de 1 mg/L es tóxica para los peces y en concentraciones menores, la toxicidad se manifiesta frente a microorganismos lo que

produce un descenso del poder autodepurador de las aguas. Su concentración en las aguas para uso potable está limitada a 0.001 mg/L.

Los pesticidas y productos químicos agrícolas pueden convertirse en peligrosos contaminantes de las aguas debido a que son tóxicos para gran número de formas de vida. Sin embargo, no son constituyentes habituales del agua sino que se incorporan como escorrentía de las aguas de riego en campos de cultivos y parques. La presencia de estos contaminantes puede ocasionar la muerte de peces o, cuando menos, la contaminación de la carne de pescado y un empeoramiento del suministro de agua. Los plaguicidas totales tienen limitada su concentración en las aguas destinadas a uso de agua potable en 0.001 mg/L.

2.11.1. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la medida del contenido de sustancias degradables que están presentes en el agua residual. Se determina midiendo la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos cuando metabolizan estas sustancias para obtener energía. Normalmente el ensayo se realiza durante un periodo de cinco días (entonces se llama DBO₅) a una temperatura constante de 20 grados centígrados y el resultado se expresa en ppm o en g/cm³. Para aguas residuales domésticas el valor varía ampliamente. El intervalo típico varía entre 0.1 a 0.6 día-L. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

Las principales limitaciones del empleo del DBO como parámetro indicador de la carga orgánica de las aguas vienen dadas por el largo del periodo del tiempo que es preciso esperar para obtener los resultados, la necesidad de un pretratamiento cuando haya residuos tóxicos, necesidad de reducir los efectos de la presencia de microorganismos nitrificantes, la necesidad de disponer de un número suficientes de bacterias debidamente aclimatadas y el hecho que los resultados solo se refieran a la materia orgánica que es biodegradable. La DBO₅ en las aguas destinadas al uso de agua potable se recomienda que no supere los 2 mg/L.

2.11.2. La demanda química de oxígeno DQO: indica la cantidad de contaminantes presentes en el agua que pueden oxidarse mediante un oxidante químico. El consumo de oxidante da la medida del contenido de sustancias orgánicas y se expresa en la correspondiente cantidad de oxígeno mg/L. (Hernan E. Hilleboe, 1980).

En un agua residual urbana la relación DQO/DBO suele valer 2,5. En el caso de aguas residuales industriales la relación puede ser elevada, lo que indica que hay compuestos inhibidores del desarrollo microbiano.

Los parámetros más empleados para indicar el grado de contaminación de las aguas originados por sustancias inorgánicas son:

2.11.3. *El pH*: Se define como el logaritmo cambiado de signo de la concentración del ión hidrógeno. El pH de las aguas destinadas al consumo de agua potable debe estar comprendido entre 6.5 y 8.5. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

2.11.4. *Los cloruros*: Son otro parámetro importante de la calidad del agua. Estos compuestos se encuentran en el agua procedentes de la disolución de los suelos y rocas, de la intrusión del agua salada o de las descargas de las aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. Los ablandadores del agua, por ejemplo, pueden aportar cantidades importantes de cloruros. Puesto que los medios convencionales de tratamiento de aguas no eliminan los cloruros de forma significativa, cuando estos aparecen en cantidades importantes en el agua hay que atribuir su presencia al vertido de aguas residuales. Las heces humanas contienen unos 6 gramos de cloruros por persona y día. Las aguas naturales suelen tener concentraciones de 10 a 100 mg/L mientras que el agua del mar contiene 30000 mg/L como (NaCl). El límite superior recomendado para el agua de consumo humano es de 200 mg/L. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

2.11.5. *La alcalinidad del agua:* La alcalinidad del agua se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amonio. Los más importantes son los bicarbonatos cálcicos y magnésicos. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

2.11.6. *Nitrógeno y fósforo:* El nitrógeno y fósforo son importantes ya que forman parte del grupo de nutrientes que necesitan los seres vivos. También son necesarios otros elementos como el hierro aunque es este caso a nivel de trazas. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

2.11.7. *Los compuestos del fósforo:* Los compuestos del fósforo en las aguas residuales están presentes en dos formas: compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos, en este último caso como polifosfatos y ortofosfatos. La principal fuente de sales de fósforo son los detergentes y excrementos humanos. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

Aproximadamente el 30 por 100 de las sales de fósforo en las aguas residuales proceden de los detergentes. Sin embargo, la eliminación de sales de fósforo de los detergentes tendría un efecto muy pequeño sobre la llamada producción secundaria de sustancias orgánicas (crecimiento de algas). En su lugar, la solución al problema consiste en asegurar que solamente una mínima parte de las sales de fósforo descargadas a las aguas residuales se vierten a las aguas receptoras (ríos, lagos, embalses) tras el tratamiento de las plantas depuradoras.

2.11.8. *El nitrógeno:* El nitrógeno en las aguas residuales se encuentra presentes en forma orgánica y de forma inorgánica. Este último caso, se presenta en forma de amonio y nitratos, siendo las sales de amonio la forma principal. El nitrógeno amoniacal existente en las aguas puede estar como ión amonio o como amoniaco dependiendo del pH. Además de actuar como nutrientes en el crecimiento de las algas, los compuestos de amonio son responsables de la demanda de oxígeno de las aguas. En esta fase la primera reacción que tienen da lugar a la oxidación del amonio a nitritos y luego estos se oxidan a nitratos. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

El proceso de oxidación se conoce con el nombre de nitrificación. El contenido de nitrógeno en las aguas residuales se expresa como nitrógeno total en mg/L. Es la suma del nitrógeno orgánico, nitrógeno amónico, nitritos y nitratos.

2.11.9. *El azufre:* El azufre se presentan en los suministros de agua así como en las aguas residuales en forma de sulfatos. El azufre es un elemento que entra a formar parte de las moléculas de algunas proteínas, por tanto al degradarse estas se liberan. Los sulfatos se reducen a sulfuros en condiciones anaerobias por la acción de las bacterias. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.11.10. *Los sulfatos:* Los sulfatos contribuyen a dar salinidad a las aguas y se encuentran en la mayoría de las aguas naturales. Algunas llegan a tener concentraciones de hasta 2000 mg/L. Su presencia se debe, principalmente, a la disolución de los yesos (sulfato cálcico). También pueden proceder de la oxidación de las piritas. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los sulfatos son los elementos principales de las aguas continentales después de los bicarbonatos y silicatos. Una presencia excesiva en las aguas puede causar trastornos intestinales, sobre todo en niños. Su presencia en las aguas para uso potable está limitada a 250 mg/L aunque el organismo humano puede tolerar dosis superiores a los 400 mg/L. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

En el tratamiento de fangos por vía anaerobia, se forman sulfuros por reducción de los sulfatos presentes. Si las concentraciones de sulfuros sobrepasan los 200 ppm se puede alterar el proceso biológico.

2.11.11. *El metano:* El metano es el principal subproducto en la descomposición de la materia orgánica del agua residual. Normalmente no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual porque pequeñas cantidades de oxígeno pueden ser tóxicas para los microorganismos responsables de la producción de metano. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

Los principales microorganismos presentes en las aguas son: bacterias, hongos y algas. Las *bacterias* son protistas unicelulares. Consumen alimentos solubles. Existen miles de especies diferentes aunque su forma general encaja dentro de algunas de estas categorías: esféricas, cilíndricas y helicoidales. Los tamaños de las bacterias oscilan entre 0.5 y 3 μm . (Hernan E. Hilleboe, 1980)

En la composición de estas células intervienen: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno como elementos mayoritarios de la fracción orgánica mientras que los compuestos inorgánicos están formados principalmente por fósforo, azufre, sodio, calcio, magnesio, potasio y hierro. Puesto que todos estos elementos deben proceder del medio ambiente, la falta de cualquiera de ellos limitará el crecimiento de las bacterias.

La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida de las bacterias como sucede con los restantes seres vivos. Por su parte, en base a su metabolismo, las bacterias pueden clasificarse en heterótrofas y autótrofas según la forma de generación de energía. En el caso de las heterótrofas son incapaces de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas, por lo que deben nutrirse de otros seres vivos mientras que si son capaces en el caso de las autótrofas. En el tratamiento biológico de las aguas, las heterótrofas constituyen, en general, el grupo más importante. A su vez, según su necesidad de oxígeno, las bacterias pueden dividirse en aerobias, anaerobias o facultativas. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

Los *hongos* son microorganismos heterótrofos, no fotosintéticos y multicelulares. En ingeniería sanitaria los términos hongos y mohos se utilizan como sinónimos. Sin embargo, los mohos son los hongos que producen unidades microscópicas que colectivamente forman una masa filamentosa llamada micelio mientras que las levaduras son hongos que no pueden formar un micelio y son, por tanto, unicelulares. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos. Su capacidad para sobrevivir a pH bajos y con poco nitrógeno les hace aptos para el tratamiento de aguas residuales industriales. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

Las *algas* son microorganismos unicelulares o multicelulares, autótrofos y fotosintéticos. No son deseables en las aguas porque producen malos olores y sabores.

La capacidad de producir oxígeno de las algas es vital para la ecología del medio acuoso. Los protozoos constituyen la estructura biológica más pequeña de las conocidas que contiene toda la información necesaria para su propia reproducción. Son parásitos obligados por lo que es misión muy importante de los responsables de los tratamientos de agua que éstos estén debidamente controlados. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

Los microorganismos patógenos en el agua pueden proceder de desechos humanos infectados o portadores de una enfermedad. Los principales son bacterias. La identificación de los organismos patógenos en el agua es una tarea difícil y laboriosa por lo que suelen utilizarse como indicadores el grupo de los organismos coliformes.

Los organismos coliformes son un grupo de bacterias intestinales de forma de bacilo. No son dañinos al hombre y cada persona evacua de 100000 a 400000 millones cada día. Su presencia en las aguas se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos también pueden estar presentes. Se han desarrollado métodos que permiten distinguir los coliformes totales, los coliformes fecales y los estreptococos fecales. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.12. ESTADO DE LAS AGUAS NEGRAS

La extensión y naturaleza de la descomposición bacteriana de los sólidos en las aguas negras, ha dado origen en ciertos términos que describen las condiciones o estado de las aguas negras.

2.12.1. Aguas negras frescas. Como su nombre lo indica, son las aguas negras en su estado inicial, inmediatamente después de que se han agregado los sólidos al agua. Contienen el oxígeno disuelto presente en el agua del abastecimiento y permanecen frescas mientras haya oxígeno suficiente para mantener la descomposición aeróbica. Tales aguas negras son turbias, con sólidos en suspensión flotando, de color grisáceo y tienen un olor mohoso no desagradable. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.12.2. *Aguas negras sépticas*. El término describe a las aguas negras en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que han entrado en descomposición anaeróbica los sólidos con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y de otros gases. Tales aguas negras se caracterizan por su color negruzco, su olor fétido y desagradable, y por tener sólidos suspendidos y flotantes de color negro. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.12.3. *Aguas negras estabilizadas*. Son aguas negras en las que los sólidos han sido descompuestos hasta sólidos relativamente inertes que no están sujetos a descomposiciones ulteriores, o que son descompuestos muy lentamente.

El oxígeno disuelto esta nuevamente presente por haber sido absorbido de la atmósfera; su olor es ligero o nulo, y tienen pocos sólidos suspendidos. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

2.13. MARCO LEGAL

En cuanto a la regulación de tratamiento de aguas, la legislación ambiental se presenta en las siguientes tablas:

TABLA: 6

Normativa Ecuatoriana Aplicable a la Regulación de Tratamiento de Aguas

TEXTO LEGAL	TÍTULO Y CAPÍTULOS	TEMAS	ARTÍCULOS
Constitución Política del Ecuador Suplemento R.O. No. 449 Octubre 20, 2008	TITULO II CAPÍTULO SEGUNDO : Derechos del buen vivir Sección segunda Ambiente Art. 14	Preservación y recuperación del medio Art. 14, 83, 276	Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir... se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.
	CAPÍTULO SEXTO Derechos de Libertad Art.66	Derecho a vivir en un ambiente sano Art. 14, 66	Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas: 27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

<p>TEXTO LEGAL</p> <p>Constitución Política del Ecuador Suplemento R.O. No. 449 Octubre 20, 2008</p>	<p>CAPÍTULO NOVENO Responsabilidades Art. 83</p>	<p>Respeto derechos de la naturaleza</p> <p>Uso racional de los recursos Art. 83</p>	<p>Art. 83.- Son deberes y responsabilidades las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:</p> <p>6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.</p>
	<p>TITULO VI RÉGIMEN DE DESARROLLO CAPÍTULO PRIMERO Principios Generales Art .276</p>	<p>Preservación y recuperación del medio Art. 276</p>	<p>Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:</p> <p>4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.</p>

Fuente: La autora

<p>Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente</p> <p>(TULAS)</p> <p>R.O. 725 -16</p> <p>Diciembre, 2002</p>	<p>LIBRO VI,</p> <p>Prevención y control de la contaminación</p>	<p>Art. 92 establece el permiso de descargas y emisiones, siempre que éstas se encuentren dentro de los parámetros establecidos en las normas técnicas ambientales nacionales o las que se dictaren en el cantón y provincia en el que se encuentran esas actividades. El permiso de descarga, emisiones y vertidos será aplicado a los cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado, al aire y al suelo.</p> <p>Art. 122 contempla el cumplimiento de las normas de emisión y descarga, las cuales deberán verificarse mediante el monitoreo ambiental respectivo por parte del regulado. Sin embargo, la entidad ambiental de control realizará ediciones o monitoreo cuando lo considere necesario.</p> <p>Art. 123 la información derivada del monitoreo ambiental deberá ser reportada por el regulado a la entidad ambiental de control.</p> <p>En el Anexo I, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua; se determinan los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.</p>
--	--	---

CONTINUACIÓN...

TABLA: 7

Normas generales para descarga de efluentes: tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS) R.O. 725 -16 Diciembre, 2002	
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA LIBRO VI ANEXO I	
4. 2. CRITERIOS GENERALES DE DESCARGA DE EFLUENTES	
4.2.1 Normas Generales para descarga de efluentes: tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua	
4.2.1.1	El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados ...
4.2.1.2	En las tablas # 11, 12, 13 de la presente norma se establece la descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua.
4.2.1.3	Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua.
4.2.1.4	Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán definir independientemente sus normas.
4.2.1.5	Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje.
4.2.1.6	Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen.
4.2.1.7	Para el caso de los pesticidas, si el efluente después del tratamiento convencional, no cumple con los parámetros de descarga deberá aplicarse un tratamiento avanzado.
4.2.1.8	Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio y estar certificados.
4.2.1.9	Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.
4.2.1.10	Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos.
4.2.1.11	Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, o hacia un cuerpo de agua.

4.2.1.12	Se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados.
4.2.1.14	El regulado deberá disponer de sitios adecuados para caracterización y aforo de sus efluentes.
4.2.1.15	Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios cumplirán con los rangos y límites establecidos en las normas.
4.2.1.16	De acuerdo con su caracterización toda descarga puntual al sistema de alcantarillado y toda descarga puntual o no puntual a un cuerpo receptor, deberá cumplir con las disposiciones de esta norma.
4.2.1.18	Los regulados que amplíen o modifiquen su producción, actualizarán la información entregada a la Entidad de Control de manera inmediata
4.2.1.19	La Entidad Ambiental de Control establecerá los parámetros a ser regulados para cada tipo de actividad económica.
4.2.1.20	Cuando los regulados, aun cumpliendo con las normas de descarga, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado, la Entidad Ambiental de Control podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga.
4.2.1.21	Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, para su disposición deberán cumplirse con las normas legales.

Fuente: La Autora

TABLA: 8

Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS) R.O. 725 -16 Diciembre, 2002	
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA LIBRO VI ANEXO I	
4. 2. CRITERIOS GENERALES DE DESCARGA DE EFLUENTES	
4.2.2. NORMAS DE DESCARGA DE EFLUENTES AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO	
4.2.2.1	Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa.
4.2.2.2	El proveedor del servicio de tratamiento de la ciudad podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares.
4.2.2.3	Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos de la norma.
4.2.2.4	Toda área de desarrollo urbanístico, turístico o industrial que no contribuya al sistema de alcantarillado público, deberá contar con instalaciones de recolección y tratamiento convencional de residuos líquidos.
4.2.2.5	Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado.
4.2.2.6	Se prohíbe la descarga hacia el sistema de alcantarillado de residuos líquidos no tratados, que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc.
4.2.2.7	Los responsables (propietario y operador) de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de descarga contenidas en esta norma.

Fuente: La Autora

CONTINUACIÓN...

TABLA: 9

Normativa Ecuatoriana Aplicable a la Regulación de Tratamiento de Aguas

TEXTO LEGAL	REGISTRO	ARTÍCULO
Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental	Registro Oficial Suplemento 418 de 10 de Septiembre del 2004.	<p>Determina: Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.</p> <p>Son consideradas fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos, o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.</p>
Ley de Aguas	Decreto Supremo N° 369. RO/69 del 30 de mayo de 1972, codificada en el 2004.	<p>Los Artículos 21 y 22 se refieren a la conservación y a la prevención de la contaminación del agua.</p> <p>Título II. De la Conservación y contaminación de las aguas Capítulo I. De la conservación:</p> <p>Art. 21.- Deberes de conservación.- El usuario de un derecho de aprovechamiento, utilizará las aguas con la mayor eficiencia y economía, debiendo contribuir a la conservación y mantenimiento de las obras e instalaciones de que dispone para su ejercicio.</p>

		<p>Capítulo II. De la contaminación:</p> <p>Art. 22.- Prevención de la contaminación.- Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.</p> <p>El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.</p>
Código de Salud.	<p>Registro Oficial 158 del 8 de febrero de 1971.</p>	<p>En este documento se “prohíbe la descarga de residuos sólidos, líquidos o gaseosos sin tratamiento; sustancias nocivas e indeseables que contaminen o afecten la calidad del agua; excretas, aguas servidas, residuos industriales en cualquier curso de agua para uso doméstico, agrícola, descargas industriales en alcantarillado público sin el correspondiente permiso.</p>

Fuente: La Autora

3. HUMEDALES

3.1. INTRODUCCIÓN

Desde hace unos treinta años los sistemas de humedales construidos se han utilizado en determinadas zonas (centro y norte de Europa) para tratar las aguas residuales de pequeños municipios. En la actualidad estos sistemas se están aplicando de forma creciente en todo el mundo, tanto en los países del Norte como del Sur, para tratar aguas residuales de todo tipo. En los países del Sur los humedales constituyen una alternativa francamente viable para abordar el problema del saneamiento. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

Pero ¿cuál es el desencadenante del gran éxito de estas técnicas de tratamiento? Sin duda alguna el cambio de mentalidad progresivo de las sociedades humanas hacia el desarrollo sostenible. En muy pocos años hemos pasado de una gestión del agua desarrollista, a tener mucho más cuidado al analizar los balances de masa y de energía, no sea que estemos intentado resolver problemas generando otros. Los humedales son tecnologías de tratamiento simples de operar, con baja producción de lodos residuales y sin consumo energético. No requieren de la adición de reactivos químicos y de energía para airear el agua o recircularla. La infraestructura necesaria para su construcción es muy simple y asequible, su mantenimiento es relativamente fácil y económico. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

3.2. TIPOS DE SISTEMAS NATURALES

Los sistemas naturales son aquellos que logran la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales los cuales no requieren de energía externa ni de aditivos químicos. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

Las dos diferencias fundamentales de los sistemas naturales respecto a los convencionales son un nulo consumo energético para descontaminar y una mayor superficie de tratamiento.

Los sistemas naturales de depuración también son conocidos en la literatura científica y técnica como tecnologías no convencionales, sistemas de bajo coste, tecnologías blandas y sistemas verdes, entre otros.

En las últimas décadas los sistemas naturales se han venido utilizando de forma creciente gracias a sus características de construcción y funcionamiento: su coste de inversión suele ser competitivo, requieren de poco personal para su mantenimiento, no presentan consumo energético o se reduce al necesario para bombeos de cabecera, y no generan grandes cantidades de lodos de forma continuada. Los sistemas naturales pueden clasificarse en dos categorías según el tratamiento tenga lugar fundamentalmente en el terreno o en una masa de agua (Tabla 10).

TABLA: 10

Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales

Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales				
Basados en la aplicación del agua en el terreno		Basados en los procesos que suceden en la masa de agua		
Aplicación subsuperficial	Aplicación Superficial	Sistemas con plantas flotantes	Lagunaje natural	Humedales contruidos flujo superficial
Zanjas y lechos filtrantes Humedales contruidos flujo subsuperficial	Filtros verdes Infiltración- Percolación Filtros de arena			

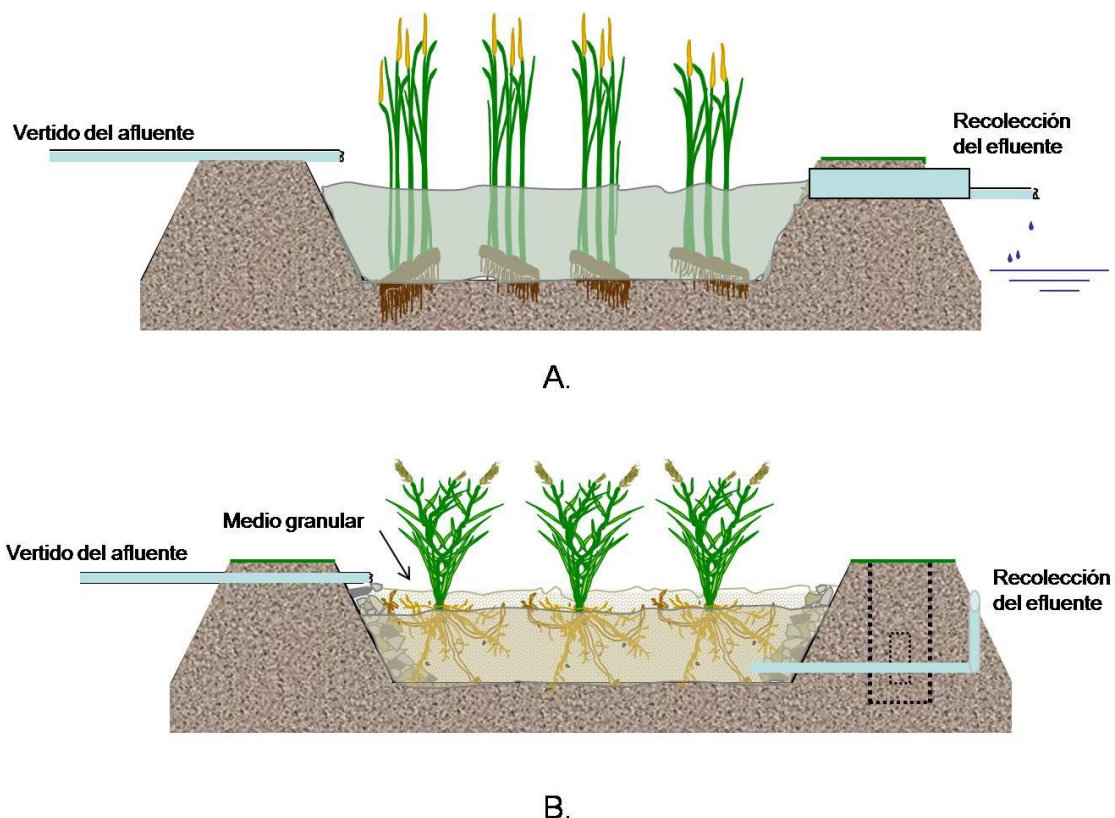
Fuente: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández

3.3. HUMEDALES CONSTRUIDOS

Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna. Los humedales construidos también se denominan humedales artificiales. Atendiendo al tipo de circulación del agua, los humedales construidos se clasifican en flujo superficial o en flujo subsuperficial.

FIGURA: 2

Tipos de humedales construidos; A, con flujo superficial, y B, con flujo subsuperficial horizontal.



Fuente: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández

En los sistemas de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de

humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,4 m, y con plantas. Se suelen aplicar para mejorar la calidad de efluentes que ya han sido previamente tratados en una depuradora.

3.4. HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales.

3.5. HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular y los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m²×día. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

Los humedales horizontales están compuestos por los siguientes elementos: (1) estructuras de entrada del afluente, (2) impermeabilización del fondo y laterales ya sea con láminas sintéticas o arcilla compactada, (3) medio granular, (4) vegetación emergente típica de zonas húmedas, y (5) estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua (Figura 2).

3.6. IMPERMEABILIZACIÓN

Es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones locales puede ser suficiente una adecuada compactación del terreno. En otros casos será necesario realizar aportaciones de arcilla o utilizar láminas sintéticas. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

3.7. ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA

Los humedales son sistemas que requieren una buena repartición y recogida de las aguas para alcanzar los rendimientos estimados, es por ello que las estructuras de entrada y salida deben estar muy bien diseñadas y construidas. El agua residual procedente de los tratamientos previos se hace llegar hasta una arqueta donde el caudal se divide equitativamente y mediante diversas tuberías se vierte al lecho. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

Alternativamente se puede hacer llegar el agua hasta un canal con vertedero que la distribuye de forma homogénea en todo el ancho del sistema.

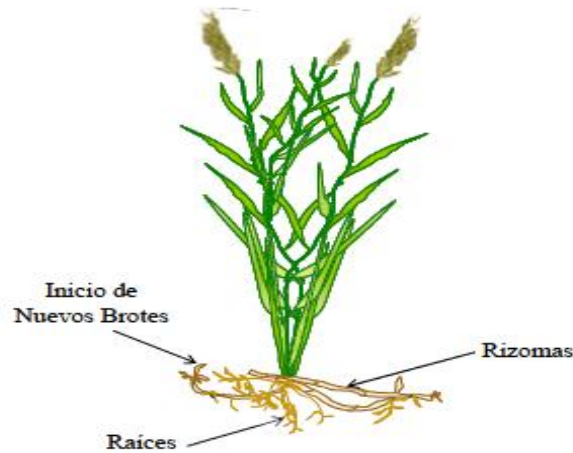
La recogida del agua efluente se realiza con una tubería perforada asentada sobre el fondo del humedal. Esta tubería conecta con otra en forma de “L” invertida y cuya altura es regulable. Dicha estructura permite modificar el nivel de agua y a su vez drenar el humedal durante operaciones de mantenimiento. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

3.8. VEGETACIÓN

Las especies utilizadas son macrófitos emergentes típicos de las zonas húmedas como el carrizo (*Phragmites*), los juncos (*Scirpus*). En nuestro país la planta más utilizada es el carrizo, con densidades de plantación de 3 ejemplares por metro cuadrado, y puede encontrarse con mucha abundancia en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar. (Humedales artificiales, 2009)

FIGURA: 3

Dibujo esquemático del carrizo (*Phragmites australis*).



Fuente: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández

Todas estas plantas presentan adaptaciones especiales para vivir en ambientes permanentemente anegados. Sus tejidos internos disponen de espacios vacíos que permiten el flujo de gases desde las partes aéreas hasta las subterráneas. Sus rizomas tienen una gran capacidad colonizadora. Los efectos de la vegetación sobre el funcionamiento de los humedales son:

- ✓ Las raíces y rizomas proporcionan una superficie adecuada para el crecimiento de la biopelícula: la biopelícula crece adherida a las partes subterráneas de las plantas y sobre el medio granular. Alrededor de las raíces se crean microambientes aeróbicos donde tienen lugar procesos microbianos que usan el oxígeno, como la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).
- ✓ Amortiguamiento de las variaciones ambientales: cuando las plantas están desarrolladas reducen la intensidad de la luz incidente sobre el medio granular evitándose así grandes gradientes de temperatura en profundidad que pueden afectar el proceso de depuración. En climas fríos la vegetación protege de la congelación. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

- ✓ Las plantas asimilan nutrientes: su contribución a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P). En aguas residuales diluidas su contribución es mayor (más del 50%). (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones: (Humedales artificiales, 2009)

1. Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
2. Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
3. La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento de la biopelícula.
4. Deben disponer de un sistema eficaz de transporte de oxígeno hacia las partes subterráneas para promover la degradación aeróbica y la nitrificación.
5. Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
6. Debe tratarse de especies con una elevada productividad.
7. Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
8. Se deben utilizar especies propias de la flora local.

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. (Oscar Delgadillo , Alan Camacho , Luis F.Pérez , Mauricio Andrade, 2010).




Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Arias, 2004).

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentía de varias maneras:

- ✓ Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- ✓ Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- ✓ Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- ✓ Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- ✓ El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- ✓ El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- ✓ En el cuadro se resumen las características de las tres especies más utilizadas en los humedales artificiales.

FIGURA 4

Características de las especies vegetales más utilizadas en humedales artificiales.

Nombre Científico	Familia	Nombre (s) común (es)	Características sobresalientes	Distancia de siembra	Penetración de raíces en grava	Temperatura C		Salinidad	pH
						Deseable	Germinación de semillas	ppt	
<i>Thypha spp</i> 	Tifácea	Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua	Ubicua en distribución Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales Se propaga fácilmente Capaz de producir una biomasa anual grande Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.	60 cm	Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	10-30	12-24	30	4 – 10
<i>Scirpus spp</i> 	Ciperácea	Totora	Perennes Crecen en grupo Plantas ubicuas Crecen en aguas costeras, interiores salobres y humedales Crecen bien en agua desde 5 cm hasta 3 m de profundidad	30 cm	60 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	18 -27		20	4 – 9
<i>Phragmites spp australis más común</i> 	Gramínea	Carrizo	Anuales Altos Rizoma perenne extenso Plantas acuáticas usadas más extensas Pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente. Son muy usadas en humedales porque ofrecen un bajo valor alimenticio	60 cm	40 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	12-23	10-30	45	2 – 8

Fuente: Extractado de Lara

3.9. MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas se han diseñado corrientemente para eliminar materia en suspensión y materia orgánica. En los últimos años la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) también se ha ido introduciendo como objetivo a alcanzar. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

De hecho, en la actualidad los procesos de eliminación de nutrientes se podrían considerar ya como convencionales. La eliminación de microorganismos fecales parece que en un futuro cercano también será un objetivo generalizado.

A continuación se describen los mecanismos de eliminación de estos contaminantes en los humedales de flujo subsuperficial.

3.10. MATERIA EN SUSPENSIÓN

La materia en suspensión queda retenida en los humedales mediante la combinación de diferentes fenómenos de tipo físico que en su conjunto se denominan como filtración del medio granular. Entre estos fenómenos cabe destacar la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua y el tamizado que sucede a nivel de los espacios intersticiales del medio granular.

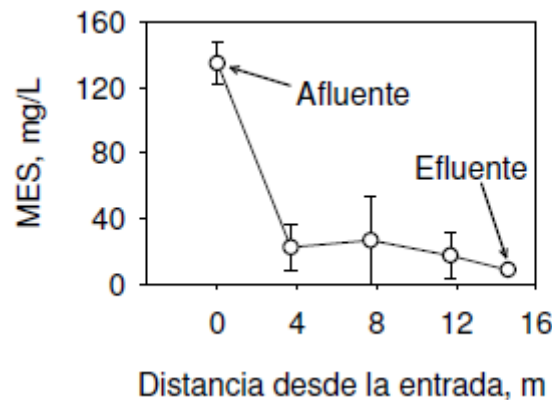
Estos fenómenos se ven potenciados por las fuerzas de adhesión que ocurren entre los sólidos y que tienden a promoverla formación de partículas de mayor tamaño. En la actualidad se desconoce cuál es la importancia relativa de cada uno de estos fenómenos. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

En los humedales horizontales la mayor parte de la eliminación de la materia en suspensión sucede cerca de la zona de entrada y su concentración va disminuyendo de forma aproximadamente exponencial a lo largo del lecho. En general, casi toda la eliminación de la materia en suspensión sucede en $1/4 - 1/3$ de la longitud total del sistema. ¹

¹ Píriz, A.J. (2000). *Condiciones de Óxido-Reducción en Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial*. Tesina de Especialidad, ETSECCPB, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 104 pp.

FIGURA: 5

Evolución de la concentración de materia en suspensión (MES) a lo largo de un humedal de flujo horizontal



Fuente : Píriz, A.J.

3.11. MATERIA ORGÁNICA

La eliminación de la materia orgánica en los humedales es compleja ya que es el resultado de la interacción de numerosos procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea.

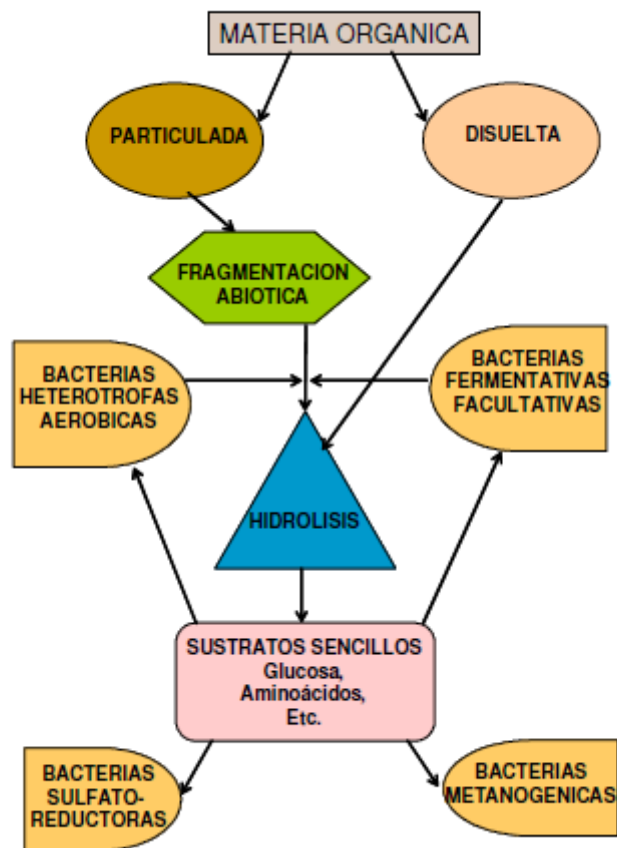
La materia orgánica articulada es retenida por filtración cerca de la entrada en sistemas horizontales y cerca de la superficie en verticales (tal y como se ha descrito para la materia en suspensión, ya que gran parte de esta materia orgánica es básicamente la materia en suspensión). Esta fracción particulada, por fragmentación abiótica, se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008)

Las enzimas son excretados por bacterias heterótrofas aeróbicas y fermentativas facultativas. El resultado de la hidrólisis es la formación de sustratos sencillos (por ejemplo glucosa o aminoácidos) que pueden ser asimilados por las bacterias heterótrofas aeróbicas o fermentativas facultativas.

Los ácidos a su vez pueden ser asimilados por bacterias sulfatoreductoras, metanogénicas y también, por supuesto, por las heterótrofas aeróbicas. Los sustratos sencillos presentes en el agua residual son asimilados directamente sin necesidad de hidrólisis previa. En la Figura 4 se muestra una representación esquemática de los procesos implicados en la degradación de la materia orgánica en los humedales.

FIGURA: 6

Esquema simplificado de los procesos que intervienen en la degradación de la materia orgánica en los humedales.



Fuente: Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández

Por otra parte, se debe tener en cuenta que muchas sustancias disueltas se retienen por adsorción, bien en la propia materia orgánica o en el medio granular. Estas sustancias pueden simplemente quedar allí, o bien desplazarse y ser reabsorbidas, o ser degradadas por microorganismos.

La degradación de la materia orgánica por vía aeróbica en los humedales de flujo horizontal sucede cerca de la superficie del agua (en los primeros 0,05 m de profundidad) y en las zonas cercanas a las raíces.² El oxígeno liberado por las raíces no es suficiente para degradar completamente de forma aeróbica la materia orgánica de un agua residual de tipo medio.

Estimaciones realizadas a través de balances de masa y emisiones de gases indican que la degradación aeróbica es una vía poco importante con respecto a vías anaeróbicas en sistemas horizontales. En humedales verticales no se dispone de datos sobre la importancia relativa de la respiración aeróbica. No obstante, el hecho de que en diferentes sistemas se haya encontrado concentraciones apreciables de oxígeno en toda la profundidad del lecho, sugiere que la degradación aeróbica es una vía bastante importante, si no es la que más.³

Las bacterias heterótrofas aeróbicas en ausencia de oxígeno pueden degradar la materia orgánica por vía anóxica utilizando el nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación). Está bastante claro que la vía anóxica opera en flujo horizontal ya que en muchos estudios se ha observado eliminación de amoníaco y en cambio ausencia de nitrato, lo que sugiere que el nitrato formado se elimina rápidamente por desnitrificación.

Por el contrario, en sistemas verticales la desnitrificación parece que no opera ya que no pueden eliminar nitrato. Esto es debido a que en toda la profundidad del lecho hay condiciones aeróbicas que impiden la desnitrificación.

En los sistemas horizontales hay supuestamente pocos lugares con condiciones aeróbicas, y por tanto en una parte muy importante del lecho las bacterias fermentativas facultativas crecen originando ácidos grasos como el acético y el láctico alcoholes como el etanol y gases como el H₂.

² Bécares, E. (2004). Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial”. En: *Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Construidos*. García, J., Morató, J. y Bayona, J.M Editores, CPET-Centro de Publicaciones del Campus Nord, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, pp 51-62.

³ García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L. y Bayona, J.M. 2004. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Wat. Res.* 38, 1669-1678.

Estos compuestos representan sustratos para las bacterias sulfatoreductoras y metanogénicas, todas ellas anaeróbicas. También para heterótrofas aeróbicas si es que estos sustratos están disponibles en las zonas aeróbicas. En los sistemas verticales la presencia de oxígeno en todo el lecho inhibe las reacciones de tipo anaeróbico.

Los balances de masa efectuados así como la información reciente disponible sobre el ciclo del azufre indican que la sulfato reducción es una vía muy importante de degradación de la materia orgánica en sistemas horizontales. Se ha observado que en los humedales las bacterias sulfatoreductoras y las metanogénicas pueden competir por el sustrato, y en presencia de sulfato y alta carga orgánica las bacterias sulfato reductoras crecen con más éxito. La profundidad del agua y la carga orgánica afectan la importancia relativa de las diferentes vías de degradación de la materia orgánica, y éstas a su vez afectan a los rendimientos de eliminación. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

En la actualidad está bastante claro que a medida que ganan importancia las vías anaeróbicas en detrimento de las anóxicas y anaeróbicas la eficiencia disminuye. Por este motivo, los humedales verticales alcanzan mejores rendimientos de eliminación, ya que en estos prevalecen las vías aeróbicas.

El rendimiento de eliminación de la materia orgánica en sistemas de humedales horizontales y verticales es óptimo si están bien diseñados, construidos y explotados. Tanto para la DQO como para la DBO se alcanzan rendimientos que oscilan entre 75 y 95 % produciendo efluentes con concentración de DQO menor de 60mg/L y de DBO menor de 20 mg/L.⁴

3.12. NITRÓGENO

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se encuentra fundamentalmente en forma de amonio y también como nitrógeno orgánico. No suele ser habitual encontrar

⁴ Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 155 pp.

concentraciones significativas de nitratos y nitritos. En los humedales el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno es de tipo microbiano y consiste en la nitrificación seguida de desnitrificación. Sin embargo, también hay otros procesos que contribuyen a la eliminación como la adsorción del amonio y la asimilación realizada por las plantas. En los humedales el ciclo del nitrógeno está acoplado al del carbono (materia orgánica) fundamentalmente a través de la desnitrificación.

La nitrificación es realizada por bacterias autótrofas aeróbicas que aprovechan el poder reductor del amonio y éste se convierte en nitrato. La nitrificación requiere de 4,6 mg de oxígeno por cada miligramo de amonio (expresado como nitrógeno). En los humedales horizontales puesto que la transferencia de oxígeno es baja y hay pocas zonas aeróbicas, la nitrificación no es destacable y el rendimiento de eliminación del amonio no supera generalmente el 30%.⁵

En los humedales verticales se obtienen muy buenos rendimientos de conversión del amonio a nitrato dado el carácter aeróbico de la gran parte del lecho. En general la nitrificación es total.

La reacción de la desnitrificación permite eliminar el nitrato formado previamente por la nitrificación y convertirlo en nitrógeno gas. Esta reacción sólo ocurre en condiciones de anoxia y en presencia de materia orgánica, ya que es realizada por bacterias heterotróficas. Por esta razón los humedales verticales tienen dificultades para eliminar el nitrato formado y frecuentemente se combinan en serie seguidos de humedales horizontales. En éstos sí que hay zonas exentas de oxígeno donde puede llevarse a cabo la desnitrificación.

En este caso lo único que se debe asegurar es el humedal disponga de materia orgánica. Por ejemplo, una pequeña parte del caudal de entrada (10-20%) se puede desviar hacia el sistema horizontal. Se ha observado que en los humedales horizontales los procesos de nitrificación y desnitrificación suceden de forma acoplada, de manera que el nitrato formado rápidamente es aprovechado, generándose nitrógeno gas.

⁵ Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). *Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation*. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 155 pp.

El amonio entrante en un humedal subsuperficial puede ser retenido por adsorción. Sin embargo, este es un proceso reversible y cuando cambian las condiciones que lo estabilizan, el amonio puede regresar al agua.

Las plantas pueden eliminar nitrógeno mediante la asimilación de amonio o nitrato. En los humedales generalmente utilizarán preferentemente amonio ya que es más abundante. El nitrógeno asimilado es incorporado a la biomasa y por tanto eliminado del agua. Al morir las partes aéreas de las plantas, durante sus senescencia anual, el nitrógeno puede retornar al humedal, por ello se recomienda podar la vegetación justo antes de las senescencia. En general en aguas urbanas de tipo medio las plantas eliminan entre 10 y 20% del nitrógeno.

3.13. FÓSFORO

Igual que en los sistemas de depuración biológicos convencionales, la eliminación de fósforo en los humedales es complicada. En general no se suele eliminar más del 10-20%, y sin haber grandes diferencias entre sistemas horizontales y verticales.

Los mecanismos de eliminación del fósforo pueden ser de tipo biótico y abiótico. Los bióticos incluyen la asimilación por parte de las plantas y los microorganismos. Los abióticos abarcan fundamentalmente la adsorción por el medio granular. En muchos estudios se ha observado que después de la puesta en marcha de humedales se obtiene una buena eficiencia de eliminación del fósforo para después reducirse rápidamente en poco tiempo. Esto es debido a que el medio granular limpio tiene capacidad de adsorción, pero esta se va perdiendo rápidamente. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

Se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar medios granulares con alta capacidad para retener fósforo. No obstante, ésta se acaba perdiendo y el medio se debe reemplazar.

En la actualidad parece que la mejor manera de eliminar el fósforo es incorporando en los sistemas de humedales procesos de precipitación, por ejemplo por adición de sales de aluminio. En los humedales la utilización de sales de hierro para la precipitación puede dar lugar a sulfuro de hierro que da color negro al agua. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008)

3.14. PATÓGENOS

De cara a garantizar buenas condiciones sanitarias, especialmente si los efluentes se van a reutilizar, es importante eliminar o reducir la concentración de microorganismos fecales.

La eliminación de microorganismos es un proceso de gran complejidad ya que depende de factores como la filtración, la adsorción y la depredación. Se ha observado que tanto en sistemas verticales como horizontales la eliminación es dependiente del tiempo de permanencia y del medio granular.

Cuanto menor es el diámetro del medio granular, mayor es el nivel de eliminación obtenido. Para evaluar la eficiencia de eliminación de los patógenos se suele estudiar la eliminación de microorganismos indicadores de la contaminación fecal, como son por ejemplo los coliformes fecales. No obstante, la mejora de las técnicas microbiológica conduce a pensar que en poco tiempo se dispondrá de datos de patógenos propiamente. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

El grado de eliminación obtenido en sistemas horizontales y verticales es similar y oscila entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100 mL aproximadamente para todos los indicadores. Este nivel de eliminación no suele ser generalmente suficiente para producir efluentes aptos para el riego agrícola por ejemplo.

En estas circunstancias es recomendable dotar al sistema de humedales de lagunas o humedales de flujo superficial que favorecen la desinfección. También se puede clorar el efluente.

Debe quedar claro que si se quiere obtener un efluente de buena calidad sanitaria un sistema de humedales construidos no será suficiente. Por lo que, se tendrá que disponer de un sistema de desinfección. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

3.15. OTROS CONTAMINANTES

Cada vez hay más interés por contaminantes emergentes diferentes de los que normalmente se han considerado en la tecnología de la depuración de aguas. Dentro de estos contaminantes se incluyen metales pesados, tensoactivos, productos farmacéuticos, productos de uso personal y de limpieza, y microorganismos como *Cryptosporidium*. En este momento los datos existentes en el campo de los humedales subsuperficiales son más bien escasos. No obstante, estos aspectos se están estudiando y en pocos años se va a disponer de bastante información. (Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, Noviembre de 2008).

3.16. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS

Se define como tanque séptico al sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda o conjunto de viviendas, que combina la separación y digestión de sólidos. El efluente es dispuesto por infiltración en el terreno y los sólidos sedimentados acumulados en el fondo del tanque y son removidos periódicamente en forma manual o mecánica. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2003)

El uso de tanques sépticos se permitirá en localidades rurales, urbanas y urbanas marginales que no cuenten con red de alcantarillado o que éstas se encuentren tan alejadas de la localidad y que resulte muy costoso su conexión. Así, se permitirá su uso como unidad de tratamiento para el caso de alcantarillado de pequeño diámetro.

Los requisitos en las que se proyecten tanques sépticos con sus correspondientes sistemas de infiltración, deberán contar con suficiente área para poder acomodar los diferentes procesos de infiltración y se podrá usar en pequeñas comunidades de 1000, 2000 y 3000 habitantes.

En nuestro proyecto la distancia del tanque séptico a la vivienda o cualquier otro tipo de edificación, no deberá ser menor a 2.0 metros. Los tanques sépticos no deberán ser contruidos en áreas pantanosas o fácilmente inundables.

El efluente de los tanques sépticos no deberán ser descargados directamente a cuerpos superficiales de agua a excepción que el estudio del cuerpo receptor indique lo contrario. El periodo de limpieza del tanque séptico no deberá ser mayor a cinco años ni menor a dos años. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2003).

No se aceptará el uso de tanques sépticos en paralelo, el tanque séptico deberá ubicarse aguas de abajo de cualquier pozo o manantial destinado al abastecimiento de agua para consumo humano con también los tanques sépticos deben ser fácilmente accesibles a vehículos pesados para posibilitar su limpieza periódica.

3.17. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA POZOS DE ABSORCIÓN

El pozo de absorción es aquel hoyo profundo realizado en la tierra para infiltrar el agua residual sedimentada en el tanque séptico. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundialde la Salud, 2003)

Los pozos de infiltración no deben ser empleados en lugares donde el abastecimiento de agua para consumo humano se obtenga de pozos de menos de 10 m. de profundidad o donde el subsuelo esté compuesto por formaciones calcáreas o rocas fracturadas, a fin de minimizar la contaminación de la fuente de agua subterránea. La estimación de la

superficie de infiltración es decir la capacidad del pozo de absorción se calculará en base a los resultados de las pruebas de infiltración que se hagan a cada estrato, usándose el promedio ponderado de los resultados para definir la superficie del diseño. El área del campo de infiltración se determinará mediante la división del caudal diario entre la tasa de infiltración. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2003)

Cuando los desechos domésticos contienen residuos domésticos provenientes de desmenuzado de residuos de cocina y efluentes de máquinas lavadoras de ropa de lavado y enjuague consecutivo, será necesario ampliar la superficie de infiltración en 20 % por cada uno de los tipos de descargas.

Par tiempos de infiltración mayores a 60 minutos por cada cinco centímetros de descenso del nivel de agua o tasa de infiltración menor a 37 L/m^2 no se recomienda el empleo de pozos de infiltración para la disposición de efluentes de los tanques sépticos, debiéndose proyectar otro sistema de tratamiento o disposición final. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundial de la Salud, 2003).

La distancia mínima de cualquier punto del pozo de infiltración a viviendas, tuberías de agua, pozos de abastecimiento y cursos de agua superficiales (ríos, arroyos, etc.) serán de 6, 15, 30 metros respectivamente.

La distancia mínima entre el pozo de absorción y cualquier árbol debe ser mayor a 5.0 m. Cuando se dispongan de dos o más pozos de infiltración en paralelo, se requerirá instalar una o más cajas de distribución de flujos. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundial de la Salud, 2003).

La caja distribuidora del agua sedimentada deberá permitir la distribución uniforme del flujo a cada pozo de infiltración. Frente a la boca de ingreso del efluente del tanque séptico a la caja distribuidora, deberá existir una pantalla de atenuación que distribuya el flujo en todo lo ancho de la caja.

La repartición a cada pozo se podrá obtener por medias cañas vaciadas en la losa del fondo, vertederos distribuidores de flujos, o por otro sistema debidamente justificado que se ubicará después de la pantalla de atenuación.

El área efectiva de absorción del pozo lo constituye el área lateral del cilindro, sin incluir el área correspondiente a la base del cilindro o fondo del pozo. Para el cálculo se considerará el diámetro exterior del pozo. El área útil del campo de infiltración, se determinará mediante la división del caudal diario entre la tasa de infiltración. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundial de la Salud, 2003).

La profundidad útil del pozo de absorción, se determinará mediante la división del área útil del campo de infiltración entre la superficie lateral del cilindro. La altura de infiltración quedará fijada por la distancia entre el nivel a donde llega el tubo de descarga y el fondo del pozo. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundial de la Salud, 2003).

Todo pozo de absorción deberá introducirse por lo menos 2,0 metros en la capa filtrante del terreno, y el fondo del pozo debe quedar por lo menos 2,0 metros por encima del nivel freático de las aguas subterráneas. El fondo del pozo deberá ser cubierto por una capa de 0,15 metros de espesor de grava gruesa de las mismas características que la empleada para rellenar el espacio entre el muro y el terreno natural. La losa de techo del pozo de absorción tendrá una tapa de inspección de 0,60 metros de diámetro o de 0,60 x 0,60 m por cada lado.

3.18. DISEÑO DE HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL

Los sistemas de flujo horizontal constituyen la primera tipología de humedales de flujo subsuperficial que se desarrolló a escala real. Por tanto, los métodos de dimensionamiento disponibles han sido contrastados y consensuados en múltiples experiencias.

Es importante tener en cuenta que un sistema basado en un único humedal horizontal permite eliminar la materia en suspensión y la DBO de forma eficaz y por debajo de los límites de vertido habituales. En el caso de que se desee alcanzar una reducción de nitrógeno significativa es necesario completar el sistema con más unidades de tratamiento (por ejemplo, otros humedales o lagunas). Si se quiere lograr que los rendimientos de eliminación de fósforo y microorganismos indicadores de la contaminación fecal sean significativos, se debe dotar a los humedales (sean horizontales o verticales) de unidades de proceso adicionales.

3.18.1. Dimensionamiento

El dimensionamiento de humedales de flujo horizontal se realiza en dos etapas: en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento (dimensionamiento biológico) y en la segunda se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico).

3.18.1.1. Dimensionamiento biológico

Para la obtención de las ecuaciones de diseño se supone que los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los cuales los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden.⁶ Por tanto, el balance de masa para un contaminante es simplemente:

$$\frac{dC}{dt} = -k_v C \quad \text{Expresión 1}$$

Siendo,

⁶ Brix, H. (1994). The Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas. Desing and Use of Constructed Wetlands. Curso CIHEAM-IAWQ. Zaragoza.

TABLA: 11
Dimensionamiento biológico

C	La concentración del contaminante, por ejemplo en mg/L.
kv	La constante de cinética de primer orden, en días. El signo negativo en la expresión indica que la concentración de contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Fuente: Brix, the Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas.

Si se integra esta ecuación entre la concentración inicial de contaminante o afluente (C_0 para $t=0$) y la final o efluente (C_1 para $t=t$, siendo este último el tiempo medio de retención hidráulico, en días) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_v t) \quad \text{Expresión 2}$$

El tiempo medio de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\varepsilon x S x h}{Q} \quad \text{Expresión 3}$$

Siendo,

TABLA: 12
El tiempo medio de retención hidráulico

V	El volumen del humedal, en m^3 .
Q	El caudal medio, en $m^3/\text{día}$.
e	La porosidad, en tanto por uno.
S	La superficie del humedal, en m^2 .
h	La profundidad media del humedal, en m.

Fuente: Brix, the Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas.

Sustituyendo t en las dos ecuaciones anteriores y definiendo una nueva constante cinética de primer orden (k_A , en m/día):

$$k_A = k_v \times \mathcal{E} \times h \quad \text{Expresión 4}$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp (- k_A S/Q) \quad \text{Expresión 5}$$

Despejando S :

$$S = \frac{Q}{k_A} \ln \left[\frac{C_0}{C_1} \right] \quad \text{Expresión 6}$$

Esta es la ecuación de diseño recomendada para dimensionar la superficie de humedales de flujo horizontal. Los valores de Q y C_0 se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el de C_1 se define a partir de los límites de vertido o los objetivos de calidad establecidos por la normativa ambiental vigente.

El valor de k_A lógicamente variará según el contaminante. Para eliminar la DBO es adecuado un valor de 0,08 m/día.⁷ Además, si el sistema se dimensiona para eliminar DBO, a la vez también se va a reducir la materia en suspensión de forma suficiente, ya que estos sistemas son más eficaces para eliminar la materia en suspensión que la DBO. Por otra parte, este mismo dimensionamiento va a permitir reducir el nitrógeno en aproximadamente un 30-60% si el sistema se diseña con una profundidad media de la lámina de agua de 0,3 metros.

Para estimar qué concentración de nitrógeno total va a haber en el efluente de un sistema diseñado para eliminar DBO se puede usar la ecuación 5 con un valor de k_A de 0,025 m/día. Alternativamente también se puede dimensionar el sistema para eliminar

⁷ García J., Aguirre P., Mujeriego R., Huang Y., Ortiz L. y Bayona, J. M. (2004). Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. Wat. Res., 38, 1669-1678.

nitrógeno utilizando el valor de k_A de 0,025 m/día y la expresión 6. Los anteriores valores de k_A son válidos para aguas residuales que llegan al humedal (después de los tratamientos previos) con carga media o baja ($DBO_5 < 250$ mg/L). Para cargas más elevadas es conveniente reducir el valor de k_A en un 20%.

Para llevar a cabo un buen dimensionamiento es importante plantearse diferentes escenarios en cuanto a caudales y concentraciones, y observar si para la superficie de diseño determinada con la ecuación 6 se cumplen los valores límites de vertido establecidos.

En general se acepta que la superficie de diseño es correcta cuando un 95% de las concentraciones de contaminante de los efluentes se encuentran por debajo del límite de vertido.

Una vez determinada la superficie de tratamiento se realiza una verificación final consistente en comprobar que la carga orgánica superficial sea menor de 6 g $DBO/m^2 \cdot día$. En el caso que el valor obtenido sea superior a éste, se deberá incrementar la superficie necesaria para cumplir este criterio.

Una característica notable de los humedales construidos de flujo subsuperficial es su poca sensibilidad a los cambios de temperatura para eliminar DBO. Numerosos estudios han demostrado que la eficiencia de eliminación de la DBO de los humedales no mejora en verano ni empeora en invierno de forma significativa.⁸ Es por ello que en este texto no se propone realizar una corrección para la temperatura mediante la expresión de Arrhenius de los valores de las constantes cinéticas de primer orden. En el dimensionamiento de sistemas convencionales esta corrección se realiza habitualmente.

No obstante, de forma práctica, si el humedal de flujo horizontal se dimensiona para eliminar nitrógeno se debe tener en cuenta que la eficiencia en invierno puede reducirse en un 30% (la temperatura sí que afecta a la eliminación de nitrógeno).

⁸ Kadlec, R.H. y Knight, R.L. (1996). Treatment Wetlands. CRC Press Boca Raton, 893 pp.

En los humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal que actúan como tratamiento secundario la concentración de fondo de los contaminantes (aquella generada por el propio sistema) puede considerarse despreciable frente a los niveles de los contaminantes presentes en el agua afluente. Sin embargo, cuando el humedal forma parte de un tratamiento de afino (por ejemplo de una planta de fangos activados o de un sistema vertical) es conveniente tener en cuenta la concentración de fondo, y en ese caso, la ecuación 6 se modifica de la siguiente manera.⁹

$$S = \frac{Q}{k_A} = \left[\frac{C_0 - C^*}{C_1 - C^*} \right] \quad \text{Expresión 7}$$

Siendo,

C^* la concentración de fondo, en las unidades que corresponda según el contaminante.

Para calcular la concentración de fondo se dispone de las siguientes expresiones:

$$\text{Para la DBO}_5 \quad C^* = 3,5 + 0,053C_0, \quad 0 < C_0 < 200 \text{ mg/L} \quad \text{Expresión 8}$$

$$\text{Para la MES} \quad C^* = 7,8 + 0,063C_0 \quad \text{Expresión 9}$$

$$\text{Para el nitrógeno total: } C^* = 1,5 \text{ mg/L}$$

$$\text{Para el fósforo total: } C^* = 0,02 \text{ mg/L}$$

3.18.1.2. Dimensionamiento hidráulico

El dimensionamiento hidráulico sirve para determinar las dimensiones del sistema (anchura y longitud) una vez conocida su superficie. El dimensionamiento hidráulico se realiza aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen del flujo en un medio poroso, mediante la siguiente ecuación:

$$Q = k_s \cdot A_s \cdot S \quad \text{Expresión 10}$$

⁹ Kadlec, R.H. y Knight, R.L. (1996). Treatment Wetlands. CRC Press Boca Raton, 893 pp.

Siendo,

TABLA: 13
Dimensionamiento hidráulico

Q	El caudal, en m^3/d .
k_s	La conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo, en $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$.
A_s	Es la sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo, en m^2 .
s	Es el gradiente hidráulico o pendiente (dh/dL), en m/m .

Fuente: Kadlec, R.H. y Knight, R.L. Treatment Wetlands.

Como caudal se recomienda tomar el máximo diario para asegurarse de que el sistema absorberá bien las puntas de caudal. No se deben utilizar caudales puntas horarios ya que originan sistemas excesivamente anchos y poco largos.

La conductividad hidráulica varía en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado.

En la Tabla 13 se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (k_s) para algunos materiales granulares limpios que podrían utilizarse como sustrato en estos sistemas. La conductividad hidráulica con el paso del tiempo se va reduciendo por retención de sólidos y crecimiento del biofilm, especialmente en la zona de entrada. Es por ello que se recomienda adoptar un factor de seguridad para k_s de 7 como mínimo.

TABLA: 14

Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica (k_s) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido de flujo subsuperficial

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica K_s ($m^3/m^2 \times d$)
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10 000
Gravas medianas	32	36-40	10 000-50 000
Rocas pequeñas	128	38-45	50 000-250 000

Fuente: Reed, S.C., Crites, R.W. y Middlebrooks, E.J. Natural Systems for Waste Management and Treatment.

Los valores de la pendiente (s) que se suelen utilizar varían en el rango de 0,01 a 0,02 m/m. Es conveniente que la pendiente no sea superior a 0,02 m/m para evitar que los costes de excavación sean elevados. No obstante, esto se debe evaluar en cada proyecto en particular, ya que dependiendo de la longitud del sistema quizá una pendiente algo mayor no aumenta excesivamente estos costes.

Las dimensiones del humedal se determinan entonces:

$$A_s = \frac{Q_{med,d}}{k_s \cdot s} \quad \text{Expresión 11}$$

Siendo,

Q medio d	El caudal medio diario, en $m^3/día$.
------------------	--

Calculada el área de la sección transversal, y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal:

$$W = \frac{A_s}{h} \quad \text{Expresión 12}$$

Siendo,

W	El ancho, en m.
h	La profundidad, en m.

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie determinada con el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema:

$$L = \frac{S}{W} \quad \text{Expresión 12}$$

Siendo,

L	La longitud, en m.
----------	--------------------

Por último se debe verificar que la relación largo: ancho sea como mínimo 1:1. En caso de que no se cumpla esta condición, es decir, que el largo sea mayor que el ancho (que es lo que suele suceder en la mayoría de los casos), se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionarán en paralelo, que sí cumplan este criterio.

3.19. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UN TRATAMIENTO CON HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA POBLACIÓN DE 1000 HABITANTES

$$a) Q = 1.875 \frac{\cancel{t}}{\cancel{seg}} \frac{1 m^3}{1000 \cancel{t}} \frac{3600 \cancel{seg}}{1 \cancel{h}} \frac{24 h}{1 día} = 162 m^3/día$$

Se considera que en el tanque séptico se redujo un 40 %

$$b) S = \frac{162 m^3/día}{0.08 m/día} * \ln \left(\frac{140 mg/l}{20 mg/l} \right)$$

$$S = 3940 m^2$$

$$c) C_s = \frac{162 m^3/día * 140 g DBO_5/m^3}{3940 m^2} = 5.75 g DBO_5/m^2 día$$

$$d) A_s = \frac{162 m^3/día}{\left(\frac{3000 m^3}{7 m^2 día} \right) * 0.02} = 18.9 m^2$$

$$e) W = \frac{18.9 m^2}{0.5 m} = 37.8 m$$



Altura del Humedal

$$f) L = \frac{3940 m^2}{37.8 m} = 104.23 m$$

3.20. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UN TRATAMIENTO CON HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA POBLACIÓN DE 2000 HABITANTES

$$a) \quad Q = 3.356 \frac{l}{seg} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} \cdot \frac{3600 seg}{1 h} \cdot \frac{24 h}{1 día} = 290 m^3/día$$

Se considera que en el tanque séptico se redujo un 40 %

$$b) \quad S = \frac{290 m^3/día}{0.08 m/día} * \ln \left(\frac{140 mg/l}{20 mg/l} \right)$$

$$S = 7053.9 m^2$$

$$c) \quad Cs = \frac{290 m^3/día * 140 g DBO_5/m^3}{7053.9 m^2} = 5.75 g DBO_5/m^2 día$$

$$d) \quad As = \frac{290 m^3/día}{\left(\frac{3000 m^3}{7 m^2 día} \right) * 0.02} = 33.83 m^2$$

$$e) \quad W = \frac{33.83 m^2}{0.5 m} = 67.66 m$$



Altura del Humedal

$$f) \quad L = \frac{7053.9 m^2}{67.66 m} = 104.25 m$$

3.21. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE UN TRATAMIENTO CON HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA LA POBLACIÓN DE 3000 HABITANTES

$$a) \quad Q = 4.838 \frac{\cancel{t}}{\cancel{seg}} \cdot \frac{1 \cancel{m^3}}{1000 \cancel{t}} \cdot \frac{3600 \cancel{seg}}{1 \cancel{h}} \cdot \frac{24 \cancel{h}}{1 \text{ día}} = 418 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se considera que en el tanque séptico se redujo un 40 %

$$b) \quad S = \frac{418 \text{ m}^3/\text{día}}{0.08 \text{ m}/\text{día}} * \ln \left(\frac{140 \text{ mg}/\text{l}}{20 \text{ mg}/\text{l}} \right)$$

$$S = 10167.38 \text{ m}^2$$

$$c) \quad C_s = \frac{418 \text{ m}^3/\text{día} * 140 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3}{10167.38 \text{ m}^2} = 5.75 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2 \text{ día}$$

$$d) \quad A_s = \frac{418 \text{ m}^3/\text{día}}{\left(\frac{3000 \text{ m}^3}{7 \text{ m}^2 \text{ día}} \right) * 0.04} = 24.38 \text{ m}^2$$

$$e) \quad W = \frac{24.38 \text{ m}^2}{0.5 \text{ m}} = 48.76 \text{ m}$$



Altura del Humedal

$$f) \quad L = \frac{10167.38 \text{ m}^2}{48.76 \text{ m}} = 208 \text{ m}$$

3.22. CÁLCULO DE VOLUMENES

3.22.1. Cálculo de volúmenes para 1000 habitantes:

1. VOLUMEN DE EXCAVACIÓN

$$V = (7,3 * 3,95 * (2,35 + 1))$$

$$V = 96.59 \text{ m}^3$$

2. VOLUMEN DE MEJORAMIENTO DEL SUELO (h=20 cm)

$$V = (7,3 * 3,95 * 0,2)$$

$$V = 5.77 \text{ m}^3$$

3. VOLUMEN DE HORMIGÓN

a) Volumen de losa de fondo

$$V = (7,3 * 3,95 * 0,3)$$

$$V = 8.65 \text{ m}^3$$

b) Volumen de las paredes

$$V = (2 * (0,3 * 3,95 * 2,05)) + (2 * (0,3 * 6,7 * 2,05))$$

$$V = 13.10 \text{ m}^3$$

c) Volumen de la losa superior

$$V = ((6,7 * 3,35) - (3 * (\pi * 0,5^2)))$$

$$V = ((6,7 * 3,35) - (3 * (\pi * 0,25)))$$

$$V = 20.09 \text{ m}^3$$

d) Volumen de cilindros de hormigón

$$V = (3 * (\pi * 0,7^2)) - (\pi * 0,5^2) * 1$$

$$V = (3 * (\pi * 0,49)) - (\pi * 0,25) * 1$$

$$V = 3.83 \text{ m}^3$$

VOLUMEN TOTAL

$$V = 45.67 \text{ m}^3$$

4. VOLUMEN DE RELLENO

$$V = ((7,3 * 3,95 * 1) - (3 * (\pi * 0,7^2)))$$

$$V = ((7,3 * 3,95 * 1) - (3 * (\pi * 0,49)))$$

$$V = 24,21 \text{ m}^3$$

3.22.2. Cálculo de volúmenes para 2000 habitantes

1. VOLUMEN DE EXCAVACIÓN

$$V = (9,2 * 4,9 * (2,55 + 1))$$

$$V = 160,03 \text{ m}^3$$

2. VOLUMEN DE MEJORAMIENTO DEL SUELO (h=20 cm)

$$V = (9,2 * 4,9 * 0,2)$$

$$V = 9,02 \text{ m}^3$$

3. VOLUMEN DE HORMIGÓN

a) *Volumen de losa de fondo*

$$V = (9,2 * 4,9 * 0,3)$$

$$V = 13,52 \text{ m}^3$$

b) *Volumen de las paredes*

$$V = (2 * (0,3 * 4,9 * 2,25)) + (2 * (0,3 * 8,6 * 2,25))$$

$$V = 18,23 \text{ m}^3$$

c) *Volumen de la losa superior*

$$V = ((8,6 * 4,3) - (3 * (\pi * 0,5^2)))$$

$$V = ((8,6 * 4,3) - (3 * (\pi * 0,25)))$$

$$V = 34,62 \text{ m}^3$$

d) *Volumen de cilindros de hormigón*

$$V = (3 * (\pi * 0.7^2)) - (\pi * 0.5^2) * 1$$

$$V = (3 * (\pi * 0.49)) - (\pi * 0.25) * 1$$

$$V = 3.83 \text{ m}^3$$

VOLUMEN TOTAL

$$V = 70.21 \text{ m}^3$$

4. VOLUMEN DE RELLENO

$$V = ((9.2 * 4.9 * 1) - (3 * (\pi * 0.7^2)))$$

$$V = ((9.2 * 4.9 * 1) - (3 * (\pi * 0.49)))$$

$$V = 40.46 \text{ m}^3$$

3.22.3. Cálculo de volúmenes para 3000 habitantes

1. VOLUMEN DE EXCAVACIÓN

$$V = (10.4 * 5.5 * (2.75 + 1))$$

$$V = 214.50 \text{ m}^3$$

2. VOLUMEN DE MEJORAMIENTO DEL SUELO (h=20 cm)

$$V = (10.4 * 5.5 * 0.2)$$

$$V = 11.44 \text{ m}^3$$

3. VOLUMEN DE HORMIGÓN

a) *Volumen de losa de fondo*

$$V = (10.4 * 5.5 * 0.3)$$

$$V = 17.16 \text{ m}^3$$

b) *Volumen de las paredes*

$$V = (2 * (0.3 * 5.5 * 2.45)) + (2 * (0.3 * 9.8 * 2.45))$$

$$V = 22.49 \text{ m}^3$$

c) *Volumen de la losa superior*

$$V = ((9,8 \cdot 4,9) - (3 \cdot (\pi \cdot 0,5^2)))$$

$$V = ((9,8 \cdot 4,9) - (3 \cdot (\pi \cdot 0,25)))$$

$$V = 45,66 \text{ m}^3$$

d) *Volumen de cilindros de hormigón*

$$V = (3 \cdot (\pi \cdot 0,7^2)) - (\pi \cdot 0,5^2) \cdot 1$$

$$V = (3 \cdot (\pi \cdot 0,49)) - (\pi \cdot 0,25) \cdot 1$$

$$V = 3,83 \text{ m}^3$$

VOLUMEN TOTAL

$$V = 89,15 \text{ m}^3$$

4. VOLUMEN DE RELLENO

$$V = ((10,4 \cdot 5,5 \cdot 1) - (3 \cdot (\pi \cdot 0,7^2)))$$

$$V = ((10,4 \cdot 5,5 \cdot 1) - (3 \cdot (3,1416 \cdot 0,49)))$$

$$V = 52,58 \text{ m}^3$$

3.23. DISEÑO DE UN POZO DE ABSORCIÓN PARA DESCARGA FINAL

El dimensionamiento del pozo de absorción se lo hace con la siguiente fórmula:

$$H = \frac{Q}{\pi * (R + r) * K}$$

Donde

H =	altura útil del pozo, [m]
R =	radio superior del pozo, [m]
r =	radio inferior del pozo, [m]
K =	coeficiente de absorción del suelo, [L/m ² /día]
Q =	Caudal generado para 3000 habitantes [L/día]

Se divide el caudal de diseño para el número de pozos necesarios para que la altura total no sea muy grande.

$$H = \frac{418000}{\pi * (2 + 1) * 480}$$

Y se obtiene una altura de 9.23 m a la cual se deben sumar un metro para el lecho de piedra en el fondo y por seguridad.

Entonces se obtienen cuatro pozos de dos metros de radio en la superficie por un metro de radio en el fondo y 10.23 m de profundidad.

4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

4.1. ASPECTOS CONCEPTUALES

Los niveles de alteración ambiental cuyo significado e importancia preocupan a la humanidad en general y a los países y grupos humanos en particular, debe analizarse, en un sentido amplio, tanto en sus aspectos naturales (como el suelo, la flora, la fauna) como de contaminación (aire, agua, suelo, residuos), de valor paisajístico, de alteración de costumbres humanas y de impactos sobre la salud de las personas. Todos los factores o parámetros que constituyen el Medio Ambiente biótico y abiótico pueden verse afectados en mayor o menor medida por las acciones humanas, los seres humanos. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.1.1. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

Criterios en los cuales se fundamenta la evaluación del Impacto Ambiental se presenta a continuación:

- ✓ Evaluación de impactos de las actividades humanas sobre el medio ambiente.
- ✓ Ambiente entendido como la integración de sistemas físicos, biológicos, humanos y sus relaciones.
- ✓ Impacto considerado como la alteración positiva y negativa de carácter significativo del medio ambiente por causas humanas.

4.1.2. Definición de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

La EIA es un procedimiento jurídico administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado

por parte de las distintas Administración Públicas competentes. (Vicente Conesa Fdez, 2010).

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es el procedimiento administrativo que incluye un conjunto de estudios y sistemas técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto, obra o actividad de nueva creación, causa sobre el medio ambiente. (Gómez Orea Domingo, 2003).

Permite comparar las situaciones ambientales existentes con aquellas que surgirían como resultado del desarrollo de una acción en particular. La comparación sirve para identificar tanto los impactos positivos y los beneficios ambientales que surgen de realizar el proyecto que se está evaluando, como aquellos de carácter negativo que deben manejarse para evitar la degradación del medio ambiente. Lo más significativo es que se incorporen las medidas que aseguren la protección del medio ambiente y que hagan viable la acción, si ello no es posible, la acción no debe ser ejecutada. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.1.3. Estudio de Impacto Ambiental (EsIA)

Es el estudio técnico, de carácter interdisciplinar, que incorporado en el procedimiento de EIA, está destinado a predecir, identificar, valorar y corregir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones pueden causar sobre la calidad de vida del hombre y su entorno. (Vicente Conesa Fdez, 2010)

Es el documento técnico debe presentar el titular del proyecto, y sobre la base del que se produce la Declaración o Estimación de Impacto Ambiental. Este estudio deberá identificar, describir y valorar de manera apropiada, y en función de las particularidades de cada caso concreto, los efectos notables previsibles que la realización del proyecto produciría sobre los distintos aspectos ambientales. (Vicente Conesa Fdez, 2010).

En conclusión, EsIA es un elemento de análisis que interviene de manera esencial en cuanto a dar información en el procedimiento administrativo que es la EIA, y culmina con la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

4.1.4. Proceso de la Evaluación del Impacto Ambiental

4.1.4.1. Definición del proceso del EIA

Un proceso de evaluación del impacto ambiental no es en sí mismo un instrumento de decisión, sino que genera un conjunto ordenado, coherente y reproducible de antecedentes que permiten al promotor de un proyecto, a la autoridad competente y a la ciudadanía, en cada caso, tomar decisiones informadas y certeras. Todo ello se hace posible cuando se presenta un estudio de impacto ambiental y la autoridad respectiva lo somete a un proceso participativo de revisión para calificar la calidad del análisis. (Guillermo Espinoza, 2007).

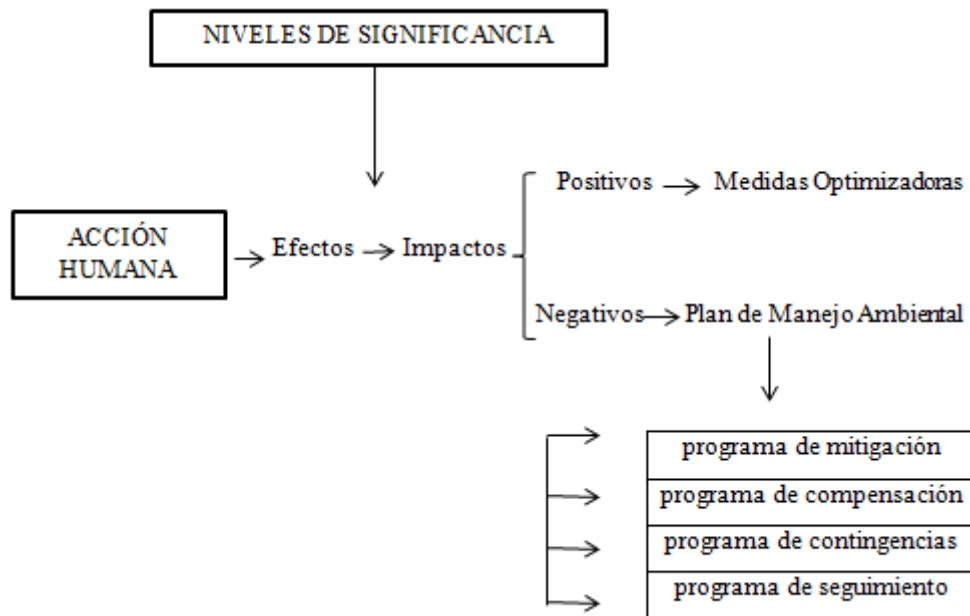
Es fundamental desarrollar una herramienta de gestión preventiva que provea las capacidades para identificar y corregir anticipadamente problemas ambientales o situaciones conflictivas que tienden a provocar niveles de insatisfacción o deterioro de la calidad de vida de la población.

Para lograr estas capacidades se necesita disponer de un sistema con metodologías, criterios y procedimientos que permitan evaluar, prevenir y corregir los impactos ambientales que puedan derivarse de las actividades humanas.

4.1.4.2. Estructura conceptual del Proceso de EIA

FIGURA: 7

Estructura conceptual del Proceso de EIA



Fuente: ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.

El proceso de EIA se basa en los siguientes aspectos:

- ✓ Las exigencias aceptadas universalmente para una evaluación de impacto ambiental eficaz a través de:
 - a) Un análisis ambiental integral, en cuanto a incluir todos los aspectos básicos involucrados de la evaluación.
 - b) Un análisis amplio que busca la conciliación con otros aspectos del desarrollo.
 - c) Un análisis formal, en cuanto se acomoda a los requisitos legales establecidos para estos fines.
- ✓ Los requisitos técnicos y administrativos instalados con el propósito de incorporar la sostenibilidad ambiental en el proceso de desarrollo, marcando por una gestión innovadora y moderna integrada a la perspectiva del desarrollo sostenible.

- ✓ El propósito de que las acciones humanas demuestren anticipadamente su viabilidad ambiental y accedan con facilidad al cumplimiento de los procedimientos establecidos.
- ✓ Un marco general para una aplicación preventiva de la protección ambiental, respetando las especificaciones de cada acción humana en particular.

4.1.4.3.Objetivo del proceso de EIA:

El objetivo de la evaluación del impacto ambiental es prevenir situaciones de deterioro, estableciendo las medidas más adecuadas para llevar a niveles aceptables los impactos derivados de acciones humanas y proteger la calidad del ambiente.

La Evaluación de Impacto Ambiental persigue los siguientes objetivos:¹⁰

- ✓ Asegurar que las consideraciones ambientales sean explícitamente expresadas e incorporadas en el proceso de toma de decisiones del desarrollo.
- ✓ Anticipar y evitar, minimizar o compensar los efectos adversos significativos biofísicos, sociales y otros impactos relevantes de las propuestas de desarrollo.
- ✓ Proteger la productividad y capacidad de los sistemas naturales y de los procesos ecológicos que mantienen sus funciones.
- ✓ Promover el desarrollo sustentable que optimiza el uso de recursos y la administración de oportunidades.

Es importante resaltar el carácter preventivo del proceso, ya que orienta la toma de decisiones en las etapas anteriores a la ejecución de la acción en cuestión. En este sentido el proceso de evaluación de impacto ambiental es siempre desarrollado en forma previa a la acción prevista.

La evaluación de Impacto Ambiental permite comparar las situaciones ambientales existentes con aquellos que surgirían como resultado del desarrollo de una acción en particular.

¹⁰ CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, 4ta.Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid -2010, p.146.

La comparación sirve para identificar tanto los impactos positivos y los beneficios ambientales que surgen de realizar el proyecto que se está evaluando, como aquellos de carácter negativo que deben manejarse para evitar la degradación del ambiente. (Guillermo Espinoza, 2007)

Lo más significativo es que se incorporen las medidas que aseguren la protección del medio ambiente y que hagan viable la acción; si ello no es posible, la acción no debe ser ejecutada.

El proceso de la EIA debe tener en cuenta fundamentalmente:¹¹

- ✓ *El filtrado, tamizado o cribado (screening)*, para determinar si un proyecto debe estar o no estar sujeto a la EIA y, en caso afirmativo, a qué nivel de detalle. Los criterios de cribado se refieren principalmente a la magnitud y características del proyecto (aptitud) y la sensibilidad del entorno medioambiental para acogerlo (capacidad de acogida).
- ✓ *El alcance del proyecto*, para identificar los resultados y los impactos previsiblemente importantes y establecer términos de referencia para la EIA.
- ✓ *El examen de alternativas*, para establecer la opción preferida o la más favorable, benigna y ambientalmente segura para alcanzar los objetivos propuestos.
- ✓ *El estudio del entorno*, para determinar que parte del medio se verá potencialmente afectado por el proyecto.
- ✓ *El análisis de impactos*, para identificar y predecir los probables efectos de las acciones del proyecto sobre los factores del medio.
- ✓ *Las medidas preventivas, correctoras y compensatorias*, necesarias para evitar, minimizar o compensar los impactos adversos previsibles y, cuando sea apropiado, incorporarlas al proyecto.

¹¹ CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, 4ta. Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid -2010, p 148.

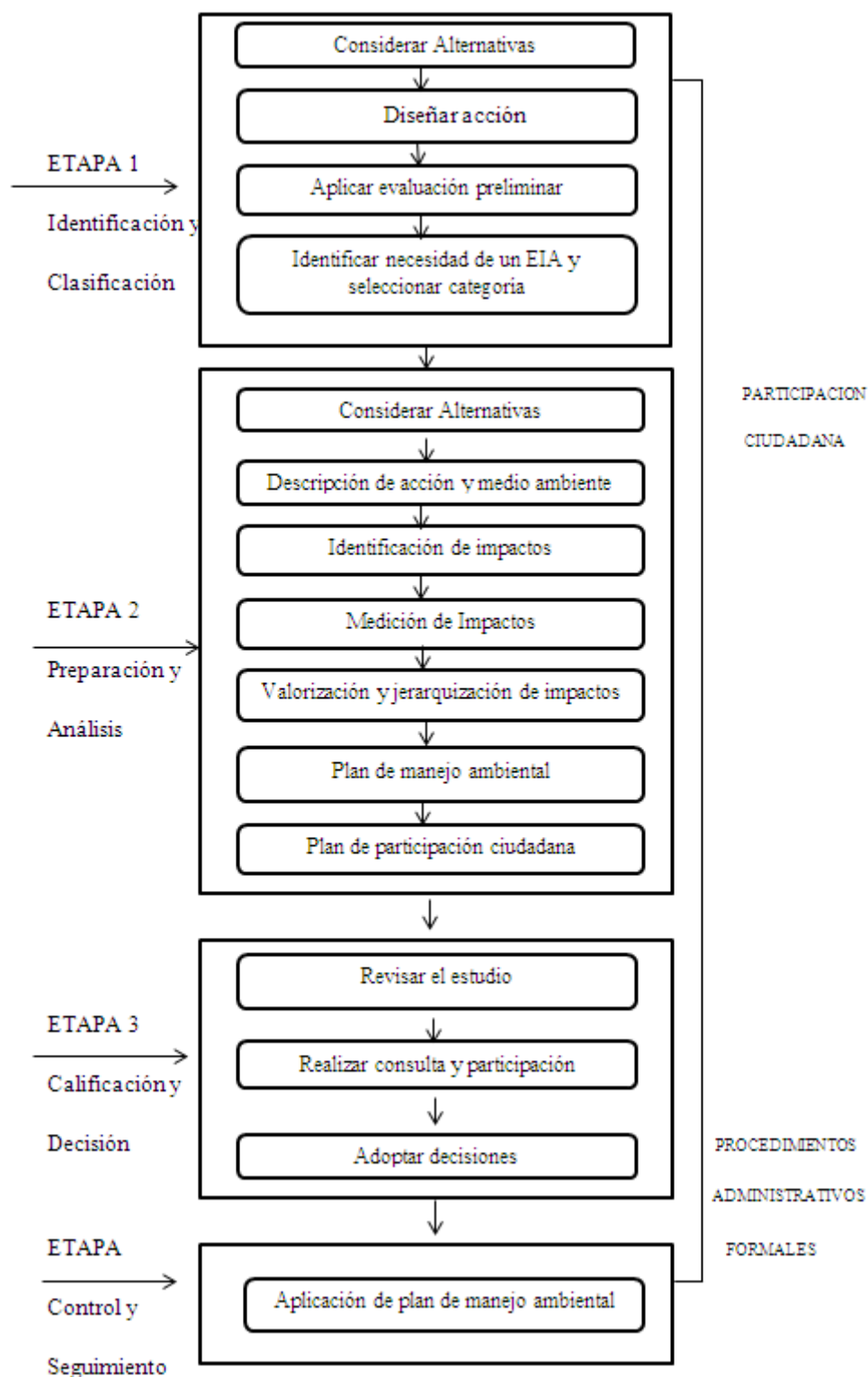
- ✓ *La valoración del impacto ambiental*, para determinar la importancia y el valor cuantitativo del impacto producido por el proyecto y la aceptabilidad de los impactos residuales, que no pueden ser corregidos ni mitigados.
- ✓ *La redacción del informe final*, para documentar clara e imparcialmente los impactos del proyecto, las medidas correctoras propuestas, el significado y valoración de los efectos, y las manifestaciones del público, personas interesadas y de la población afectada por el proyecto, también para confirmar que su contenido cumple con los fines establecidos y proporciona una valoración satisfactoria del impacto producido por proyecto, además de contener la información requerida para la toma de decisiones.
- ✓ *La toma de decisiones del órgano competente*, para aprobar o rechazar el proyecto y establecer los términos y condiciones para llevarlo a cabo.
- ✓ *El seguimiento*, para asegurar que los términos y condiciones de las aprobación sean alcanzados, testear la eficacia de las medidas correctoras y, cuando se considere necesario, llevar a cabo auditorías ambientales y procesos de evaluación para optimizar la práctica ambiental.

4.1.4.4. Esquema general del proceso de la EIA

En la **FIGURA 8** se presenta el esquema teórico de cómo se expresaría un proceso de EIA en un nivel operativo. En esta figura se identifican las etapas cruciales para el funcionamiento del sistema, las que pueden señalarse como de: i) identificación y clasificación, ii) preparación y análisis, iii) calificación y decisión, y iv) seguimiento y control. Ellas, en su conjunto, contienen los distintos requisitos para los diferentes actores involucra.

FIGURA: 8

Esquema general del proceso de la EIA



Fuente: ESPINOZA, Guillermo. Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental

4.1.5. ETAPA 1: Identificación y clasificación ambiental

En esta etapa se define la necesidad de realizar una evaluación de impacto ambiental de detalle y el tipo de categoría ambiental requerido. Se usa una evaluación preliminar basada en información, tal como la siguiente: (Vicente Conesa Fdez, 2010)

- a) **Descripción del proyecto** en sus aspectos relevantes y pertinentes al estudio, incluyendo la legislación ambiental aplicable.
- b) **Descripción del área** de influencia con la definición del área involucrada y la descripción, en forma general, del medio ambiente relacionado con el proyecto.
- c) **Medidas de mitigación** posibles de utilizar para darle sostenibilidad al proyecto.

La importancia de esta etapa radica en que es ella donde se determina si la acción propuesta presenta impactos ambientales potenciales significativos de carácter negativo y positivo.

4.1.5.1. RESULTADOS DE LA ETAPA

- ✓ Establecer si la acción propuesta presenta impactos ambientales potenciales significativos de carácter negativo y positivo
- ✓ Verificar si en virtud de sus impactos potenciales se requiere o no la incorporación a los procesos formales de evaluación ambiental
- ✓ Definir el nivel de detalle y cobertura requerido en la evaluación ambiental, enfocado en los impactos reales que surgen de las características de la acción y de las condiciones ambientales existentes en el entorno (área de influencia).

4.1.6. ETAPA 2: Preparación y análisis

Esta etapa corresponde a la aplicación concreta del alcance del estudio definido para un proyecto determinado.

Aquí se revisan los impactos significativos, previamente identificados en la evaluación preliminar, especialmente aquellos de carácter negativo, y se establecen sus respectivas medidas de mitigación y compensación.

Su importancia reside en el análisis detallado de los impactos ambientales, aspecto fundamental para la posterior revisión y definición de los requisitos de mitigación, seguimiento y control. (Guillermo Espinoza, 2007)

Además de describir la acción propuesta y la línea de base ambiental del área de influencia se elabora el plan de manejo ambiental, se propone el seguimiento y control y se articula la participación ciudadana. Se incorpora información, tal como la siguiente:

A. Descripción del ambiente. Se trata de analizar las condiciones ambientales, que pueden ser afectadas por la acción humana, al nivel de detalle necesario.

Se requiere, entonces, conocer exactamente los componentes involucrados al interior del territorio afectado, o área de influencia de la acción, el que se define como la zona donde ocurren los impactos y se efectúan acciones de mitigación y seguimiento. La información debe mostrar claramente las características de las variables ambientales a afectarse y ser la base a partir de la cual se evalúan los eventuales impactos. Si existe información disponible que no caracteriza el ambiente afectado o no proporciona elementos para evaluar los impactos e implementar las medidas de mitigación y seguimiento, entonces no amerita ser incluida en el análisis. (Guillermo Espinoza, 2007)

B. Pronóstico y análisis de impactos ambientales. Este análisis se realiza sobre la base de revisar el carácter *significativo* de los impactos, poniendo especial atención en aquellos que presentan un nivel crítico o irreversible. Con estos fines se utilizan metodologías estructuradas que permiten predecir el comportamiento de los distintos tipos de impactos que puedan presentarse. (Guillermo Espinoza, 2007)

Por ejemplo, se analizan los impactos: a) positivos y negativos, b) primarios e inducidos, c) de corto y largo plazo, d) acumulativos, y e) sinérgicos. Una vez conocidos y evaluados los impactos éstos se valoran y jerarquizan para seleccionar las medidas de mitigación y preparar el plan de manejo punto de vista ambiental.

C. Plan de manejo ambiental. En gran medida el cumplimiento de los programas de protección ambiental depende de las medidas de mitigación y compensación de los impactos significativos. Estas, en definitiva, son las que hacen viables las acciones humanas desde el punto de vista del medio ambiente. Entre las medidas de mitigación que se pueden considerar, están las siguientes:

- ✓ Evitar el impacto por no ejecución de la acción.
- ✓ Disminuir el impacto al limitar su magnitud.
- ✓ Rectificar el impacto al restaurar o rehabilitar el ambiente.
- ✓ Eliminar el impacto con acciones de protección y mantenimiento.

La mitigación es un proceso continuo durante el proceso de evaluación de impacto ambiental, aplicado con la idea de disminuir o evitar los impactos significativos. Se inicia desde que se identifica y se ajusta durante toda la fase de diseño.

En caso de que las medidas de mitigación no sean suficientes para disminuir los impactos ambientales, se consideran los mecanismos de reparación y compensación.

Estos se destinan a la creación de ambientes similares a los afectados o al apoyo de programas de protección ambiental. En ningún caso la compensación transa recursos ambientales por elementos distintos como dinero, becas o empleos; sólo se compensa reponiendo lo impactado ambientalmente por una situación similar. (Guillermo Espinoza, 2007)

Dependiendo del tipo de análisis ambiental, en esta etapa se debe contar con: la descripción de la acción propuesta y la línea de base ambiental del área de influencia; la identificación, medición, valoración y jerarquización de los impactos ambientales generados por la acción y, finalmente, con la definición del plan de manejo ambiental, incluyendo el programa de seguimiento y control, y el plan de participación ciudadana.

4.1.6.1. RESULTADOS DE ESTA ETAPA

- ✓ Describir la acción y el ambiente o línea de base ambiental de área de influencia.

- ✓ Pronosticar y analizar los impactos ambientales, revisando el carácter significativo de los impactos y poniendo especial atención si ellos son críticos irreversibles.
- ✓ Caracterizar los impactos significativos utilizando metodologías estructuradas que permiten predecir el comportamiento de los distintos tipos de impactos que puedan presentarse (positivos o negativos, primarios o inducidos, de corto o largo plazo, acumulativos o sinérgicos, etc.).
- ✓ Valorar y jerarquizar los impactos para seleccionar las medidas de mitigación y preparar el plan de manejo adecuado.
- ✓ Definir las medidas para manejar los impactos en el marco de un plan de manejo ambiental, considerando medidas de mitigación para evitar o reducir los impactos significativos, o, en su defecto, compensarlos; y el programa de seguimiento y control, incluyendo un plan de participación ciudadana. (Guillermo Espinoza, 2007)

4.1.7. ETAPA 3: Calificación y decisión

Esta etapa corresponde a la revisión formal, por parte de la autoridad, de los estudios de impacto ambiental. Se busca verificar la adecuación y pertinencia de las medidas propuestas para el manejo de los impactos negativos significativos derivados de las acciones específicas. (Guillermo Espinoza, 2007)

- ✓ Verificar los potenciales riesgos, daños y beneficios ambientales que se derivan de la acción humana.
- ✓ Analizar los antecedentes incorporados en el documento con la evaluación de impacto ambiental, el que debe incluir todos los aspectos relevantes sobre las características de la acción propuesta y sus implicancias ambientales.

- ✓ Determinar la efectividad del proceso de EIA y la conveniencia de la adopción de las medidas de mitigación y seguimiento contempladas en el documento bajo revisión.
- ✓ Incorporar procesos de consulta ciudadana de apoyo a la revisión del documento de evaluación de impacto ambiental.
- ✓ Asegurar que la acción se ejecutará en forma ambientalmente adecuada.

La importancia de esta etapa radica en el carácter decisorio ya que se determina la aprobación, rechazo o solicitud de modificaciones a los estudios.

Se determina en gran medida la efectividad del proceso de EIA y la conveniencia de la adopción de las medidas de mitigación y seguimiento contempladas en los estudios respectivos. (Guillermo Espinoza, 2007)

Se busca asegurar que las acciones se ejecutarán en forma ambientalmente adecuada. Durante el proceso de revisión se verifican los potenciales riesgos, daños y beneficios ambientales que se derivan de una acción humana. Se analizan los antecedentes incorporados en el estudio de impacto ambiental, el que debe incluir todos los aspectos relevantes sobre las características de la acción propuesta y las implicaciones ambientales que ella acarrea. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.1.7.1. RESULTADO DE LA ETAPA

- ✓ La revisión se enfoca en calificar la calidad del documento para saber si efectivamente cumple con: a) los aspectos formales y administrativos; b) los requisitos de calidad técnica mínima; y c) la sostenibilidad ambiental del proyecto.

4.2. TIPOLOGÍA DE LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

Como se ha dicho un Impacto Ambiental puede ser positivo o negativo, pero es importante decir que cualquier acción humana provoca un impacto, por pequeño que sea, sobre el ambiente y así tendremos impactos pequeños o grandes según la magnitud de la incidencia sobre el medio y otras clasificaciones según su importancia, duración, alcance etc.

Los factores o parámetros que constituyen el ambiente pueden verse afectados en mayor o menor medida por las acciones humanas.

Estos parámetros se sintetizan en siete grandes grupos:

TABLA: 15
Parámetros ambientales

Factores físico-químicos
Factores biológicos
Factores paisajísticos
Factores relativos al uso del suelo
Factores relativos a la estructura, equipamientos, infraestructuras y servicios de los núcleos habitados.
Factores sociales, culturales y humanos.
Factores económicos.

Fuente: CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

Estos grupos engloban la totalidad de los factores ambientales: clima, agua, suelo, flora, fauna, valores culturales, etc.

La complejidad del estudio ambiental (EsIA) que se vaya a realizar, dará lugar a distintos tipos de evaluaciones. De esta manera, tendremos de menor a mayor complejidad.

TABLA: 16**Tipología de las Evaluaciones de Impacto Ambiental**

Informe Medioambiental	Se identificarán los impactos más importantes, con descripciones cualitativas, y su finalidad más destacada será servir como indicador de la incidencia ambiental que la actuación ocasione.
Evaluación preliminar	Incorpora un pre-estudio en el que, además de identificar, se realizará una primera valoración de los impactos, a la que seguirá una valoración final más profunda.
Evaluación simplificada	No se exige un nivel de profundización demasiado elevado, en la redacción de EsIA pasando por altos aspectos que carezcan de interés relevante.
Evaluación Detallada	El Estudio de Impacto Ambiental que incorpora este tipo de evaluación se realiza cuando una actividad puede producir grandes impactos, en los que se exige un grado de profundización elevado.

Fuente: CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

4.3. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

El estudio de impacto ambiental es un elemento central del sistema. A través de este análisis ambiental, un grupo de expertos de diferentes disciplinas efectivamente identifica los impactos ambientales que una acción humana puede producir sobre su entorno.

Además, los cuantifica y propone las medidas mitigadoras y compensatorias necesarias para evitar o disminuir los impactos ambientales negativos. También se establecen acciones para optimizar los efectos positivos. (Guillermo Espinoza, 2007).

La experiencia de países con un Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) ya instalado demuestra que, en muchos casos, es necesario reducir los alcances de los estudios, dado que el impacto ambiental es mínimo. Muy a menudo, particularmente cuando existen políticas y normas claras, podría bastar con una declaratoria de cumplimiento de los requisitos ambientales impuestos. Esto se resuelve durante la evaluación preliminar, momento en que se definen los alcances del análisis ambiental. (Guillermo Espinoza, 2007)

El estudio de impacto ambiental investiga, evalúa y documenta la información que permite a los involucrados en el sistema, especialmente a la ciudadanía, a los servicios públicos u otras instituciones responsables y al proponente, tener un conocimiento acabado sobre los riesgos y beneficios de una acción propuesta. Esta información se dispone en un documento formal, que incluye los antecedentes relevantes sobre la naturaleza de la acción propuesta y sus implicancias ambientales. Se describen, por ejemplo, las características de la acción y del ambiente donde se propone su implementación, se discuten los impactos ambientales que se anticipan y se establecen las formas para evitar disminuir, rectificar, reducir o compensar aquellos de carácter negativo y realzar los beneficiosos. (Guillermo Espinoza, 2007).

El documento debe contener un resumen del proceso completo desde la decisión inicial. Se incluye desde la evaluación preliminar de impacto ambiental y la definición del ámbito de acción, hasta la presentación del análisis de impacto ambiental detallado. (Guillermo Espinoza, 2007)

Todo ello debe ser documentado y ser parte de un expediente público, para que se convierta en la fuente de información y en la historia del procedimiento llevado a cabo. También se entregan los argumentos que permiten, por ejemplo, decidir la localización óptima de una acción cuando existen alternativas desde el punto de vista ambiental. (Gómez Orea Domingo, 2003)

En el caso de que haya diversas opciones de ubicación, aporta los antecedentes para establecer cuál de ellas es la más adecuada para proteger el ambiente. Si se trata de una acción humana que no permite su reubicación, propone las formas de disminuir o evitar los impactos ambientales negativos.

El estudio de impacto ambiental es el informe que documenta el proceso de evaluación de impacto ambiental y sus distintas etapas. Contiene el análisis, pronóstico y medidas que se toman para que una acción en particular sea compatible con la protección del medio ambiente.

Existen diversos tipos de estudios de impacto, los que responden a las características de los proyectos, del ambiente afectado y de las exigencias de las instituciones y países. En los países también se les designa con distintos nombres y categorías de análisis. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.4. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

- ✓ Enfatizan el carácter interdisciplinario del equipo de trabajo, que no siempre es posible.
- ✓ Necesitan métodos predictivos apoyados en información a veces no disponible.
- ✓ Usan conceptos abstractos que no siempre son comparables con datos cuantificables.
- ✓ Necesitan datos que deben estar al mismo nivel de resolución entre sí y posibles de ser conectados en escalas compatibles.
- ✓ Disponen de un marco metodológico muy variado, por lo que la definición de cual usar requiere un conocimiento inicial del territorio o lugar afectado.
- ✓ Requieren el análisis de fragilidad y calidad del territorio afectado para lo cual, a menudo, no hay información de base.

- ✓ Necesitan de información detallada que suele no estar disponible o que no es compatible con las necesidades del estudio.
- ✓ Enfrentan la demanda de valorar los impactos ambientales de la misma manera que los impactos económicos y sociales.

4.5. TEMAS CLAVES DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.5.1. Descripción del ambiente y de la acción

La identificación de los temas relevantes a tratar en el análisis detallado establece el área geográfica que es necesaria incorporar en el estudio de impacto ambiental. Lo que se busca es una comparación de las condiciones del ambiente, con aquellas que pueden causar los diferentes componentes de la acción propuesta y sus alternativas razonables.

Para ello se requiere conocer, de forma adecuada y rigurosa, los componentes ambientales que podrían ser impactados de alguna manera con la implementación de la acción. La descripción debe ser hecha en el territorio afectado, el que se define como el lugar donde ocurren los impactos ambientales y las medidas de mitigación y seguimiento. El detalle de la información debe ser suficiente para demostrar al analista las características de los recursos naturales y humanos que podrían resultar involucrados. Además, esta descripción debe suministrar información científica con la cual se puedan predecir y comparar los impactos ambientales. (Guillermo Espinoza, 2007).

Si la información no caracteriza el ambiente afectado o no entrega elementos que permitan evaluar los impactos y realizar una mitigación y seguimiento, entonces no amerita ser incluida en un análisis de impacto ambiental. Por el contrario, la ausencia de información relevante es un indicador de la baja calidad del trabajo, ya que se estarían omitiendo antecedentes que permitirían analizar de mejor manera los impactos ambientales.

Aun cuando se reconoce que los detalles contenidos en la descripción del medio ambiente y del proyecto varía con la naturaleza de la acción propuesta y los recursos afectados, en ella se incluyen temas relacionados con aspectos de geología, topografía, suelos, recursos hídricos subterráneos y superficiales, comunidades terrestres y acuáticas, áreas de fragilidad ambiental, calidad del aire, utilización del territorio, demografía, ruido, socioeconomía, y recursos culturales, entre otros. (Guillermo Espinoza, 2007)

En general se incluyen los elementos a escala y detalles necesarios que expliquen los impactos ambientales o que permitan formarse una idea clara del significado ambiental de la acción. La regla general es no incluir información innecesaria y enfocarse en los antecedentes relevantes. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.5.2. Pronóstico y análisis de impactos ambientales

El pronóstico y análisis de impactos ambientales significativos dependen en gran medida del conocimiento de los procesos físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales que pueden verse afectados por la acción propuesta. Como una manera de interpretar los impactos, es posible considerar la alternativa de no realizar la acción humana como la base contra la cual se comparan los impactos ambientales generados. (Guillermo Espinoza, 2007).

Dado que el carácter significativo de los impactos es una consideración crucial para incorporarlos en el pronóstico, la atención principal se pone en aquéllos de carácter irreversible o que se consideren importantes para los componentes ambientales estudiados.

La identificación y cuantificación de impactos se realiza comúnmente mediante metodologías estructuradas, orientadas a extrapolar y caracterizar las condiciones ambientales previstas en la implementación de la acción. Estas van desde listados simples para analizar relaciones causa-efecto, hasta modelos matemáticos computacionales de simulación. Las metodologías siempre están orientadas a conocer el significado de los impactos potenciales y, por lo tanto, varían dependiendo de los elementos analizados. (Guillermo Espinoza, 2007)

Una vez obtenido el significado de los impactos ambientales para la acción y sus alternativas, si las hubiere, es posible establecer comparaciones y tomar decisiones en relación a las ventajas y desventajas ambientales de ejecutar cada una de las diversas opciones existentes. Probablemente, la comparación ambiental de una u otra alternativa es el aspecto más difícil de cuantificar en el proceso, dado que es posible proyectar los riesgos y beneficios ambientales, pero es muy difícil que ellos puedan expresarse en unidades económicas. Esto es de importancia ya que tradicionalmente las evaluaciones ambientales se incorporan a un conjunto de otras evaluaciones necesarias para la implementación de las acciones humanas, tales como las de costo-beneficio y factibilidad de ingeniería, que sí son fácilmente expresadas en unidades económicas. (Gómez Orea Domingo, 2003)

4.5.3. Mitigación, compensación y seguimiento de impactos negativos significativos

Aunque la línea de base, el pronóstico y la cuantificación de impactos ambientales son elementos importantes en la evaluación de impacto ambiental y que deben destacarse en el estudio de impacto ambiental, nunca debe olvidarse la importancia de:

- a) La mitigación o diseño y ejecución de actividades orientadas a reducir los impactos ambientales significativos.
- b) La compensación o reemplazo o sustitución de recursos o ecosistemas deteriorados por otros de similar condición e importancia.
- c) El seguimiento o conjunto de decisiones y actividades planificadas destinadas a velar por el cumplimiento de los acuerdos establecidos en la evaluación y proveer información específica sobre el estado de las variables ambientales y sociales en un territorio y su comportamiento en el tiempo.
- d) La fiscalización o conjunto de acciones de los organismos del Estado, en uso de sus facultades legales, tendientes a hacer cumplir la normativa ambiental y las condiciones ambientales de aprobación de una acción.

El concepto básico asociado a la mitigación es que los impactos ambientales negativos pueden evitarse o disminuirse con modificaciones cuidadosas en el diseño de la acción propuesta. Muchas veces estos impactos se identifican oportunamente y se les otorga el nivel adicional de protección que merecen, modificando el diseño de la acción en su fase de planificación. (Guillermo Espinoza, 2007).

La mitigación podría: a) evitar completamente el impacto al no desarrollar una determinada acción; b) disminuir impactos al limitar el grado o magnitud de la acción y su implementación; c) rectificar el impacto al reparar, rehabilitar o restaurar el ambiente afectado; y d) reducir o eliminar el impacto con operaciones de conservación y mantenimiento.

En un estudio de impacto ambiental la reducción de los impactos negativos significativos se logra mediante el análisis cuidadoso de las diferentes alternativas y opciones que se presentan a lo largo de la evaluación, a través de la modificación de partes de la alternativa seleccionada, y/o por medio de la recomposición de los elementos que resulten afectados. (Guillermo Espinoza, 2007)

La compensación permite crear ambientes similares a aquellos afectados por la acción, o considerar la donación de terrenos o fondos para un programa ambiental, por ejemplo. Es importante recalcar aquí que la compensación siempre debe hacerse utilizando la misma moneda ambiental; es decir, usando recursos que permitan la recomposición de lo que se impacta a una situación similar a la preexistente. (Guillermo Espinoza, 2007).

Es una práctica equivocada facilitar becas de estudios o edificar instalaciones comunitarias a cambio de la implementación de una acción que conlleva la desprotección del ambiente local o el deterioro de la calidad de vida de la población. Esto no cumple con los objetivos de las medidas de protección debido a que no reduce o elimina los impactos ambientales significativos producidos por la acción humana. (Guillermo Espinoza, 2007)

Cuando una acción propuesta ha sido aprobada, su implementación debe supervigilarse mediante un seguimiento que permita asegurar que efectivamente se está velando por la protección del ambiente.

Las medidas pueden incluir la presentación periódica de informes sobre las variables ambientales afectadas, u otras actividades que permitan asegurar que la acción no tiene impactos sobre la calidad del ambiente. Las actividades de seguimiento no sólo pueden ser ejecutadas por la autoridad respectiva o por el proponente, sino también por otras instancias como los sectores afectados. Todos ellos desempeñan funciones importantes en la verificación del cumplimiento de las medidas acordadas. (Guillermo Espinoza, 2007)

Las medidas previstas se incorporan en un programa (con objetivos, recursos, cronograma, responsables, instrumentos, etc.) que es incluido tanto en el análisis de impacto ambiental como en el pronunciamiento formal de la autoridad. El control continuo en el tiempo de vida de la acción es el mecanismo que permite verificar que efectivamente se cumpla con las políticas de protección ambiental. (Gómez Orea Domingo, 2003)

4.6. CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Los contenidos mínimos de un estudio de impacto ambiental que se resaltan a continuación pretenden ser la base que oriente la definición final en torno a contenidos específicos caso a caso. La profundización de los distintos puntos a considerar o la selección de aspectos específicos se deben realizar en la etapa en que se acuerden los términos de referencia para cada proyecto en particular, una vez realizada la evaluación preliminar. El objeto de esta orientación es suministrar los lineamientos básicos y los aspectos genéricos que deben ser incluidos en un estudio de impacto ambiental, independientemente de la necesaria especificidad que ellos deben tener de acuerdo a cada acción que lo motiva. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.6.1. Contenidos genéricos de un estudio de impacto ambiental

1. Contenidos Resumen Ejecutivo

- a) Fecha
- b) Título de la propuesta, descripción y ubicación
- c) Nombre del proponente
- d) Nombre de la organización que prepara el informe de la EIA
- e) Impactos significativos
- f) Recomendaciones para mitigación/compensación
- g) Seguimiento propuesto

2. Descripción detallada del proyecto, con énfasis en características o actividades que implican riesgos o que generan impactos

- a) Situación
- b) Estrategias de planificación, diseño e implementación
- c) Insumos (agua, energía y equipamiento)
- d) Planificación de procesos y productos
- e) Ayuda visual de ilustraciones (mapas, fotos, dibujos, y otros)
- f) Características técnicas, económicas y ambientales
- g) Alternativas

3. Determinación de impactos ambientales:

- a) Descripción de impactos (negativos / positivos, reversibles irreversibles, corto / largo plazo, etc.)
- b) Identificación de medidas para reducir o mitigar impactos
- c) Cuantificación y asignación de financiamiento y/o valoración económica de las medidas de mitigación y de los impactos ambientales
- d) Identificación de estudios para llenar vacíos de información
- e) Identificación, análisis y jerarquización de impactos
- f) Incertidumbre y vacíos en el conocimiento
- g) Conformidad con los estándares y regulaciones
- h) Criterios usados para evaluar la significancia

4. Descripción del ambiente en el área de estudio:

- a) Características de la línea de base y otros datos a utilizar, incluyendo comentarios sobre su confiabilidad o deficiencia.
- b) Ambiente físico
- c) Ambiente biológico
- d) Características sociales y culturales
- e) Otras (especificar cualquier muestreo, mapa o recurso especial requerido)

5. Descripción de consideraciones legales y reglamentarias

6. Descripción y análisis de alternativas

- a) Descripción de alternativas estudiadas
- b) Comparación ambiental de las alternativas

7. Desarrollo del plan de manejo ambiental

- a) Objetivos
- b) Requisitos de ejecución
- c) Tareas y cronograma
- d) Presupuesto
- e) Responsables
- f) Gerenciamiento de Impactos
- g) Responsabilidades para la ejecución de medidas
- h) Medidas de mitigación/compensación propuestas
- i) Prevención de riesgos y respuestas a contingencias
- j) Detalle del programa de seguimiento
- k) Informes, auditorías y ajustes posteriores
- l) Participación de la comunidad
- m) Capacitación propuesta

8. Identificación de requerimientos institucionales relativos a la implementación de las medidas de mitigación y seguimiento

9. Materiales de Apéndices

- a) Términos de referencia usados
- b) Información técnica
- c) Glosario
- d) Siglas, abreviaturas
- e) Resultados y estadísticas de línea de base
- f) Resumen del programa de participación pública
- g) Fuentes de información y referencias bibliográficas
- h) Metodologías de trabajo
- i) Detalles del grupo de estudio

10. Ejemplo de índice de un estudio de impacto ambiental

- a) Resumen
- b) Marco político, legal e institucional
- c) Descripción y propósito del proyecto
- d) Descripción del ambiente
- e) Análisis de alternativas
- f) Impactos ambientales significativos
- g) Plan de manejo ambiental
- h) Necesidades de entrenamiento y de gestión ambiental
- i) Programa de seguimiento
- j) Participación ciudadana y de otras agencias
- k) Lista de referencias bibliográficas
- l) Anexos (mapas, documentación técnica, muestreos, métodos, etc.)

4.7. LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En términos generales se constituyen por un conjunto de etapas y tareas a cumplir:¹²

4.7.1. Descripción del proyecto a actividad a realizar: En esta etapa se analiza y describe al proyecto a la actividad, destacando, desde el enfoque ambiental, sus principales atributos y sus debilidades más evidentes.

4.7.2. Desglose del proyecto o actividad en sus partes elementales: Esta tarea debe realizarse de manera uniforme sistemática para cada una de las cuatro fases siguientes: preparación de sitio, construcción, operación y abandono del proyecto. Deberá hacerse una prospección de las actividades relacionadas al proyecto y de aquellas otras que serán inducidas por él, siempre con el objetivo de identificar los impactos al ambiente.

4.7.3. Descripción del estado que caracteriza al ambiente, previo al establecimiento del proyecto: Descripción del medio físico en sus elementos bióticos y abióticos, en un ámbito extensas y sustentando tanto en evidencias reportadas en la literatura especializada como en observaciones directas en campo. En esta etapa se incluye el estudio medio social y económico de la zona donde se establecerá el proyecto o donde se desarrollar la actividad.

4.7.4. Elementos más significativos del ambiente: Resume la información que permite determinar el significado que tiene los elementos más relevantes al ambiente, previamente analizados, para su conservación. Habrán de definirse y aplicarse los criterios acordes a la magnitud de la importancia del ambiente, tales como diversidad, rareza, perturbación o singularidad, la valoración que se haga de cada rubro deberá tener un enfoque integral.

4.7.5. Ámbito de aplicación del Estudio del Impacto Ambiental: El ámbito de aplicación del Estudio definirá el alcance que tendrá éste, para cada uno de los elementos anteriormente descritos.

¹² CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, 4ta.Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid -2010.

Su incidencia o no con Áreas Naturales Protegidas o con Planes Parciales de Desarrollo Urbano o del Territorio, así como el cumplimiento de Normas Ecuatorianas vigentes.

- 4.7.6. *Identificación de impactos:*** Con esta etapa, el estudio alcanza una de sus fases más importantes, se trata de definir las repercusiones que tendrá en el proyecto o la actividad a realizar sobre el ambiente descrito y sobre sus elementos más significativos. Cada impacto deberá ser valorado sobre una base lógica, medible y fácilmente identificable.
- 4.7.7. *Alternativas:*** Si fuese el caso de que hubiese dos o más alternativas para las actividades, éstas serán analizadas, valoradas sobre la base de su significado ambiental y se seleccionará, como los objetivos, características y necesidades del Proyecto.
- 4.7.8. *Identificación de medidas de mitigación:*** La importancia de esta etapa debe ser evidenciada en el reporte final con la propuesta de medidas lógicas y viables en su aplicación.
- 4.7.9. *Valoración de impactos residuales:*** Identificación de aquellas situaciones negativas para el ambiente, que pueden derivar de una falta de previsión o de intervención del hombre y pudiera derivar de una falta de previsión o de intervención del hombre y que deriva de la operación del Proyecto.
- 4.7.10. *Plan de vigilancia y control ambiental:*** Se deberá definir los impactos que serán considerados en el plan de seguimiento y control; determinar los parámetros a evaluar, los indicadores que habrán de demostrar la eficacia del plan, la frecuencia de actividades, los sitios y las características de muestreo.

4.8. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Se dice que hay impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales. (Guillermo Espinoza, 2007)

Hay que hacer constar que el término impacto no implica negatividad, ya que estos pueden ser tanto positivos como negativos. El impacto de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro tal y como habría evolucionado normalmente sin tal actuación, es decir, la alteración neta (positiva o negativa) resultante de una actuación. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.9. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

El impacto ambiental constituye una alteración significativa de las acciones Humanas; su trascendencia deriva de la vulnerabilidad territorial. Esta es múltiple; por ejemplo: un determinado territorio puede presentar características de fragilidad en cuanto al riesgo de erosión y no por la contaminación de acuíferos. (Guillermo Espinoza, 2007).

Esta diversidad de facetas siempre debería ponerse de manifiesto en una evaluación de impacto ambiental. Una alteración ambiental, correspondiente a cualquiera de esas facetas de la vulnerabilidad o fragilidad del territorio, puede ser individualizada por una serie de características; entre ellas destacan, por ejemplo: (Gómez Orea Domingo, 2003)

- a) El *carácter* del impacto que hace referencia a su consideración positiva o negativa respecto al estado previo a la acción; indica si, en lo que se refiere a la faceta de la vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, ésta es beneficiosa o perjudicial.

- b) La *magnitud* del impacto informa de su extensión y representa la “cantidad e intensidad del impacto”: ¿Cuántas hectáreas se ven afectadas?, ¿qué número de especies se amenaza?, ¿cuáles son los volúmenes de contaminantes, o porcentaje de superación de una norma, etc.?
- c) El *significado* del impacto alude a su importancia relativa (se asimila a la “calidad del impacto”). Por ejemplo: importancia ecológica de las especies eliminadas, o intensidad de la toxicidad del vertido, o el valor ambiental de un territorio.
- d) El *tipo de impacto* describe el modo en que se produce; por ejemplo, el impacto es directo, indirecto, o sinérgico (se acumula con otros y se aumenta ya que la presencia conjunta de varios de ellos supera a las sumas de los valores individuales).
- a) La *duración* del impacto se refiere al comportamiento en el tiempo de los impactos ambientales previstos: si es a corto plazo y luego cesa; si aparece rápidamente; si su culminación es a largo plazo; si es intermitente, etc.
- e) La *reversibilidad* del impacto tiene en cuenta la posibilidad, dificultad o imposibilidad de retornar a la situación anterior a la acción. Se habla de impactos reversibles y de impactos terminales o irreversibles.
- f) El *riesgo* del impacto estima su probabilidad de ocurrencia.
- g) El *área espacial* o de influencia es el territorio que contiene el impacto ambiental y que no necesariamente coincide con la localización de la acción propuesta. Informa sobre la dilución de la intensidad del impacto, lo que no es lineal a la distancia a la fuente que lo provoca. Donde las características ambientales sean más proclives aumentará la gravedad del impacto (el ejemplo de la acumulación de tóxicos en las hondonadas con suelos impermeables es bien relevante).

4.9.1. Características de los impactos: (Vicente Conesa Fdez, 2010)

- Inmediatos / Posteriores
- Directos / Indirectos
- Reversibles / Irreversibles
- Acumulativos
- Sinérgicos
- Primarios, secundarios, terciarios
- Carácter
- Magnitud o cantidad
- Significado o importancia
- Duración
- Probabilidad o riesgo de ocurrencia
- Cobertura o área espacial

4.9.2. Clasificación de impactos

TABLA: 17

Clasificación de Impactos

Por la variación de la calidad ambiental	Impacto positivo: admitido como tal tanto por la comunidad científica y técnica como por la población en general, en el contexto de un análisis completo de los costes y beneficios genéricos.
	Impacto negativo: el efecto se traduce en una pérdida de un valor naturalísimo, estético - cultural, paisajístico de productividad ecológica a en un aumento de perjuicios ocasionados por la contaminación, la erosión o colmatación.

Por la intensidad o grado de destrucción	Impacto notable o muy alto: Expresa una destrucción casi total del factor considerado en el caso en que se produzca el impacto.
	Impacto mínimo o bajo: Expresa una destrucción mínima del factor considerado.
	Impacto medio y alto: Sus repercusiones se consideran entre niveles intermedios de los citados anteriormente.
Por la extensión	Impacto puntual: Tiene un efecto muy localizado.
	Impacto parcial: El efecto tiene una incidencia apreciable en el ambiente.
	Impacto extremo: El efecto se detecta en una gran parte del medio analizado.
	Impacto total: El efecto se manifiesta de forma generalizada en todo el entorno considerado.
	Impacto de ubicación crítica: El efecto se produce en un entorno cuya situación hace que sea crítica. (Vertido en una zona próxima a una toma de agua para consumo humano).
Por el momento en que se manifiesta	Impacto latente (corto, medio y largo plazo): El efecto se manifiesta al cabo de cierto tiempo desde el inicio de la actividad, como consecuencia de la aportación progresiva de agentes o sustancias debido a su acumulación a bien a su efecto sinérgico.
	Impacto inmediato: El efecto en el que el plazo de tiempo desde que se produce la acción hasta que se manifiesta el impacto es prácticamente nulo.
	Impacto de momento crítico: El efecto cuyo momento de aparición es crítico,

	independientemente del plazo de manifestación.
Por su persistencia	Impacto temporal: La alteración que ocasiona no permanece en el tiempo.
	Impacto permanente: La alteración es indefinida en el tiempo. A efectos prácticos se considera permanente cuando tiene una duración mayor de 10 años.
Por su capacidad de recuperación	Impacto irrecuperable: La alteración del medio es imposible de reparar ya sea por la acción natural o por la acción del hombre.
	Impacto irreversible: No es posible retornar a la situación anterior por medios naturales.
	Impacto reversible: La alteración puede ser asimilada por el entorno gracias al funcionamiento de los procesos naturales.
	Impacto mitigable: Los efectos pueden paliarse o mitigarse de forma sostenible, mediante el establecimiento de medidas correctoras.
	Impacto recuperable: El efecto de la alteración puede eliminarse por la acción humana.
Por su capacidad de recuperación	Impacto fugaz: La recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas correctoras o protectoras.
Por la relación causa-efecto	Impacto directo: Su efecto tiene incidencia inmediata en algún factor ambiental.
	Impacto indirecto o secundario: El efecto supone una incidencia inmediata respecto a la interdependencia de un factor ambiental con otro.

CONTINUACIÓN...

Por la interrelación de acciones y/o efectos	Impacto simple: El efecto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizada.
	Impacto acumulativo: El efecto al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad.
	Impacto sinérgico: Se produce cuando el efecto conjunto en presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia mayor que el efecto suma.
Por su periodicidad	Impacto continuo: El efecto se manifiesta a través de alteraciones regulares en su permanencia.
	Impacto discontinuo: El efecto se produce a través de alteraciones irregulares en su permanencia.
	Impacto periódico: El efecto se manifiesta con un modo de acción intermitente y continúa en el tiempo.

Fuente: CONESA F. Vicente.2010. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental.

4.10. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS. ¹³

- ✓ Estudio del entorno.
- ✓ Identificación de las acciones susceptibles de producir impactos.
- ✓ En este punto hay que identificar las distintas acciones que pueden ocasionar impacto tanto en la fase de obras, explotación y abandono.

¹³ CONESA FDEZ, Vicente. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, 4ta.Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid -2010.

- ✓ Identificación de los factores susceptibles de sufrir impactos de alguna forma por el desarrollo de la actividad.
- ✓ Caracterización de los impactos: cada uno de los impactos debe ser caracterizado en función de sus propiedades. Se trata entonces de una valoración cualitativa.

4.11. PRINCIPALES MÉTODOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (Vicente Conesa Fdez, 2010)

- a) *Las reuniones de expertos*. Solamente a considerar cuando se trata de estudiar un impacto muy concreto y circunscrito. Si no ocurre así, no se puede pretender ni rapidez ni exhaustividad, a causa de los cruces interdisciplinarios. El método Delphi ha sido de gran utilidad en estos casos.
- b) *Las “check lists”*. Son listas exhaustivas que permiten identificar rápidamente los impactos. Existen las puramente “indicativas” y las “cuantitativas”, que utilizan estándares para la definición de los principales impactos (por ejemplo, contaminación del aire según el número de viviendas).
- c) *Las matrices simples de causa-efecto*. Son matrices limitadas a relacionar la variable ambiental afectada y la acción humana que la provoca.
- d) *Los grafos y diagramas de flujo*. Tratan de determinar las cadenas de impactos primarios y secundarios con todas las interacciones existentes y sirven para definir tipos de impactos esperados.
- e) *La cartografía ambiental o superposición de mapas (overlay)*. Se construyen una serie de mapas representando las características ambientales que se consideren influyentes. Los mapas de síntesis permiten definir las aptitudes o capacidades del suelo ante los distintos usos, los niveles de protección y las restricciones al desarrollo de cada zona.
- f) *Redes*. Son diagramas de flujo ampliados a los impactos primarios, secundarios y terciarios.

- g) *Sistemas de Información Geográficos*. Son paquetes computacionales muy elaborados, que se apoyan en la definición de sistemas. No permiten la identificación de impactos, que necesariamente deben estar integrados en el modelo, sino que tratan de evaluar la importancia de ellos.
- h) *Matrices*. Estos métodos consisten en tablas de doble entrada, con las características y elementos ambientales y con las acciones previstas del proyecto.

En la intersección de cada fila con cada columna se identifican los impactos correspondientes. La matriz de Leopold es un buen ejemplo de este método. En matrices más complejas pueden deducirse los encadenamientos entre efectos primarios y secundarios, por ejemplo.

4.12. METODOLOGÍAS MÁS USUALES

Existen numerosos modelos y procedimientos para la evaluación de impactos sobre el Medio Ambiente o sobre alguno de sus factores, algunos generales, con pretensiones de universalidad, otros específicos para situaciones o aspectos concretos; algunos cualitativos, otros operando con amplias bases de datos e instrumentos de cálculo sofisticados, de carácter estático unos, dinámico otros, etc. (Vicente Conesa Fdez, 2010).

Hay que destacar que la mayoría de estos métodos fueron elaborados para proyectos concretos, resultando por ello complicada su generalización, aunque resultan válidos para proyectos similares a los que dieron origen al método en cuestión. (Vicente Conesa Fdez, 2010).

La clasificación de los métodos más usuales responde al esquema de Estevan Bolea, 1984, ampliando con el de Canter y Sadler, 1997.

4.12.1. Matrices causa-efecto.

- ✓ Leopold
- ✓ Clark
- ✓ CNYRPAB
- ✓ Moore.
- ✓ Boreano.
- ✓ Guías Metodológicas del M.O.P.U.
- ✓ Banco Mundial.
- ✓ Otras (IIASA, Canter, ESCAP, Lohani y Halim, Espinoza, Richards, etc.)

4.12.2. Lista de chequeo

- ✓ Simples.
- ✓ Descriptivas
- ✓ Escala simple.
- ✓ Escala ponderada.

4.12.3. Sistemas de interacciones o redes

- ✓ Sonrensen.
- ✓ Redes ampliadas.

4.12.4. Sistemas cartográficos

- ✓ Superposición de transparentes.
- ✓ Mc Harg.
- ✓ Tricart.
- ✓ Falque.

4.12.5. Análisis de Sistemas

4.12.6. Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación

- ✓ Holmes.
- ✓ Universidad de Georgia.
- ✓ Hill-Schechter.
- ✓ Fisher-Davies.
- ✓ Índice Global.

4.12.7. Métodos cuantitativos.

- ✓ Batelle-Columbus.

4.12.8. Métodos de simulación

4.13. VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES. CRITERIOS USADOS¹⁴

- ✓ *Carácter* (positivo, negativo y neutro, considerando a estos últimos como aquellos que se encuentran por debajo de los umbrales de aceptabilidad contenidos en las regulaciones ambientales).
- ✓ *Grado de Perturbación* en el ambiente (clasificado como: importante, regular y escasa).
- ✓ *Importancia* desde el punto de vista de los recursos naturales y la calidad ambiental (clasificado como: alto, medio y bajo).
- ✓ *Riesgo de Ocurrencia* entendido como la probabilidad que los impactos estén presentes (clasificado como: muy probable, probable, poco probable).
- ✓ *Extensión areal* o territorio involucrado (clasificado como: regional, local, puntual).

¹⁴ ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental, Santiago de Chile, 2007.

- ✓ *Duración* a lo largo del tiempo (clasificado como: “permanente” o duradera en toda la vida del proyecto, “media” o durante la operación del proyecto y “corta” o durante la etapa de construcción del proyecto).
- ✓ *Reversibilidad* para volver a las condiciones iniciales (clasificado como: “reversible” si no requiere ayuda humana, “parcial” si requiere ayuda humana, e “irreversible” si se debe generar una nueva condición ambiental).

TABLA: 18

Valoración de los Impactos Ambientales Criterios más Usados

Carácter (C)	Negativo (-1)	Neutro (0)	Positivo (1)
Perturbación (P)	Importante (3)	Regular (2)	Escasa (1)
Importancia (I)	Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Ocurrencia (O)	Muy Probable (3)	Probable (2)	Poco Probable (1)
Extensión (E)	Regional (3)	Local (2)	Puntual (1)
Duración (D)	Permanente (3)	Media (2)	Corta (1)
Reversibilidad (R)	Irreversible (3)	Parcial (2)	Reversible (1)

Fuente: ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental

TABLA: 19

Valoración de Impactos

Impacto Total = C x (P + I + O + E + D + R)	
Negativo (-)	
Severo	> (-) 15
Moderado	(-) 15 > (-) 9
Compatible	< (-) 9
Positivo (+)	
Alto	> (+) 15
Mediano	(+) 15 > (+) 9
Bajo	< (+) 9

Fuente: ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental

4.14. MARCO DE APLICACIÓN

4.14.1. La Matriz de Importancia de Impactos Ambientales (MIIA)

Una vez identificadas las acciones y los factores/aspectos del ambiente que, presumiblemente, serán impactados por aquellas, la matriz de importancia permite obtener una valoración cualitativa para un EsIA u otros instrumentos de evaluación ambiental. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Una vez identificados los posibles impactos, se hace preciso una previsión y valoración de los mismos. El EsIA, es un mecanismo fundamentalmente analítico, de investigación prospectiva de lo que puede ocurrir, por lo que la clarificación de todos los aspectos que lo definen incluyendo los impactos (interrelación acción del proyecto factor/aspecto ambiental), es absolutamente necesaria.

La valoración cualitativa se efectuara a partir de la matriz de impactos. Cada casilla de cruce en la matriz o *elemento tipo*, nos dará una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor y aspecto ambiental impactado.

4.14.2. Elemento tipo de la matriz de importancia

Los elementos de la matriz de importancia identifican el impacto ambiental generado por una acción simple de una actividad sobre un factor ambiental considerado.

En este estadio de valoración, se mide el impacto, con base en el grado de *manifestación cualitativa* del efecto que queda reflejado en lo que definimos como *importancia del impacto*. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

La importancia del impacto es pues, la relación mediante la cual se mide cualitativamente el impacto ambiental, en función tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo, tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad (Tabla 19).

Los elementos tipos, o casilla de cruce de la matriz , estarán ocupados por la valoración correspondiente a once símbolos siguiendo el orden espacial plasmado en la Tabla 20, a los que se añade uno más que sintetiza en una cifra la *importancia del impacto* en función de los once primeros símbolos anteriores. De estos once símbolos, el primero corresponde al signo o naturaleza del efecto, el segundo representa el grado de incidencia o intensidad del mismo, reflejando los nueve siguientes, los atributos que caracterizan a dicho efecto.

TABLA: 20

Relaciones que caracterizan el impacto ambiental

IMPACTO AMBIENTAL	SIGNO	Positivo + Negativo – Indeterminado * Mutable, Relativo, Dependiente.		
	VALOR (GRADO DE MANIFESTACIÓN)	IMPORTANCIA (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUALITATIVA)	Grado de incidencia	Intensidad
			Caracterización	Extensión Plazo de manifestación Persistencia Reversibilidad Sinergia Acumulación Efecto Periodicidad Recuperabilidad
		MAGNITUD (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUANTITATIVA)	Cantidad	
			Cantidad	

Fuente: Instructivo para la valoración de impactos ambientales

Se debe advertir que la importancia del impacto no puede confundirse con la importancia del factor afectado, la cual debe determinarse en el Instrumento de Evaluación de Impacto Ambiental, mediante el análisis multidisciplinario del entorno, sus características y potenciales afectaciones.

A continuación se describe el significado de los mencionados símbolos que conforman el elemento tipo de la matriz de valoración cualitativa o matriz de importancia.

4.14.2.1. Signo

El signo de efecto, y por lo tanto del impacto hace alusión al carácter *beneficioso* (+) o *perjudicial* (-) de las distintas acciones que actúan sobre los distintos factores considerados. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Existe la posibilidad de incluir, en algunos casos concretos, debidamente justificados y argumentados, un tercer carácter (*), que reflejaría efectos asociados con circunstancias externas a la actividad, de manera que solamente a través de un estudio global de todas ellas sería posible conocer su naturaleza dañina o beneficiosa. Al evaluar una actividad, obra o proyecto se estudian los impactos perjudiciales, o sea los que presentan signo (-).

Si éstos superan los estándares preestablecidos, en particular en función del marco regulatorio, se deberá contemplar la introducción de medidas correctoras que den lugar a impactos beneficiosos (+), que reduzcan o anulen los efectos de aquellos.

4.14.2.2. Intensidad (IN)

Este término se refiere al *grado de incidencia* de la acción sobre el factor, en el ámbito específico que actúa. La escala de valoración estará comprendida entre (1 y 12), en la que el (12) *expresará una destrucción* total del factor en el área en la que se produce el efecto (AP_{total}), y el (1) una afectación mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias, las cuales deben ser debidamente justificadas y argumentadas. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

4.14.2.3. Extensión (EX)

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (porcentaje de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto). (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter puntual (1). Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa

dentro del entorno de la actividad, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será total (8), considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto parcial (2) y extenso (4). (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

En el caso de que el efecto, se produzca en un lugar crítico (vertido próximo y aguas arriba de una toma de agua, degradación paisajística en una zona muy visitada o cerca de un centro urbano, etc.), se le atribuirá un valor de 4 unidades por encima del que le correspondería en función del porcentaje de extensión en que se manifiesta. Si además de crítico, el efecto es peligroso y sin posibilidad de introducir medidas correctoras, habrá que buscar inmediatamente otra alternativa a la operación, o proceso de la actividad que da lugar al efecto, anulando la causa que lo produce. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

4.14.2.4. Momento (MO)

El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor /aspecto ambiental considerado. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será inmediato, y si es inferior a un año, corto plazo, asignándole en ambos casos un valor (4). Si es un periodo de tiempo que va de uno a cinco años, medio plazo (2), y si el efecto tarda en manifestarse más de 5 años, largo plazo, con valor asignado de (1).

Si concurriese alguna circunstancia que hiciese crítico el momento del impacto, cabría atribuirle un valor cuatro unidades por encima de las especificadas (ruido por la noche en las proximidades de un centro hospitalario – inmediato, previsible aparición de una plaga o efecto pernicioso en una explotación justo antes de la recolección medio plazo). (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

4.14.2.5. Persistencia (PE)

Se refiere al tiempo que, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medio naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, consideramos que la acción produce un efecto fugaz, asignándole un valor (1). Si dura entre uno y cinco años, temporal (2); y si el efecto tiene una duración superior a los cinco años, consideramos el efecto como permanente asignándole un valor (4).

4.14.2.6. La persistencia, es independiente de la reversibilidad.

Un efecto permanente (contaminación permanente del agua de un río consecuencia de los vertidos de una industria), puede ser reversible (el agua del río recupera su calidad ambiental si cesa la acción como consecuencia de una mejora en el proceso industrial), o irreversible (el efecto de la tala de árboles ejemplares es un efecto permanente irreversible, ya que no se recupera la calidad ambiental después de proceder a la tala).

Por el contrario, un efecto irreversible (pérdida de la calidad paisajística por destrucción de un jardín durante la fase de construcción de infraestructura), puede presentar una persistencia temporal, (retorno a las condiciones iniciales por implantamiento de un nuevo jardín una vez finalizadas las obras). Los efectos fugaces y temporales son casi siempre reversibles o recuperables. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

4.14.2.7. Reversibilidad (RV)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado como consecuencia de la acción acometida, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, **por medios naturales**, una vez aquella deja de actuar sobre el medio. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Si es corto plazo, es decir menos de un año, se le asigna un valor (1), si es a medio plazo, es decir un período que va de uno a cinco años (2) y si el efecto es irreversible, o dura más de cinco años, le asignamos el valor (4). Los intervalos de tiempo que comprenden estos periodos, son idénticos a los asignados en el parámetro anterior.

4.14.2.8. Recuperabilidad (MC)

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia de la actividad acometida, es decir las posibilidades a retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras). (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Si el efecto es totalmente recuperable, y si lo es de manera inmediata, se le asigna un valor de (1), o un valor de (2), si lo es a mediano plazo, si la recuperación es parcial y el efecto es mitigable, toma un valor de (4); cuando el efecto es irrecuperable (alteración imposible de reparar, tanto por acción natural como por la humana) le asignamos el valor de (8). En el caso de ser irrecuperables, pero existe la posibilidad de introducir medidas compensatorias, el valor será de (4).

4.14.2.9. Sinergia (SI)

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocada por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provoca actúan de manera independiente y no simultánea. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Cuando una acción actuando sobre un factor, no es sinérgica con otras acciones que actúan sobre el mismo factor, el atributo toma el valor de (1), si presenta un sinergismo moderado, toma el valor de (2) y si es altamente sinérgico deberá asignársele un valor de (4). Cuando se presentan casos de *debilitamiento*, la valoración del efecto presentará valores de signo negativo, reduciendo al final el valor de la Importancia del Impacto.

4.14.2.10. Acumulación (Ac)

Este atributo da la idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple), el efecto se valora como (1). Si el efecto producido es acumulativo el valor se incrementa a (4)

4.14.2.11. Efecto (EF)

Este atributo se refiere a la relación causa efecto en términos de su direccionalidad, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Un impacto puede ser directo e indirecto al mismo tiempo, aunque en factores distintos, dado que la escala es excluyente, y no se valora el hecho de que pueda ser directo e indirecto, hay que hacer la valoración excluyente. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

El efecto puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta, se le asigna un valor de (4).

En caso de que se presente un efecto indirecto o secundario, es decir que tiene lugar a partir de un efecto primario, y no existe un efecto directo asociado a esa misma acción, se le asigna al impacto un valor de (1). Su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando éste como una acción de segundo orden. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

4.14.2.12. Periodicidad (PR)

La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma esporádica en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (continuo).

A los efectos continuos se les asigna un valor de (4), a los periódicos un valor de (2), y a los de aparición irregular, que deben evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia, así como a los discontinuos un valor de (1). (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

Un ejemplo de efectos continuo, es la ocupación de un espacio consecuencia de una construcción. El incremento de los incendios forestales durante la época seca, es un efecto periódico, intermitente y continuo en el tiempo. El incremento del riesgo de incendios, consecuencia de una mejor accesibilidad a una zona forestal, es un efecto de aparición irregular, no periódico, ni continuo pero de gravedad excepcional.

4.15. IMPORTANCIA DEL IMPACTO (I)

Ya se ha apuntado que la importancia del impacto, o sea, la importancia del efecto de una acción sobre un factor/aspecto ambiental, no debe confundirse con la importancia del factor ambiental afectado. (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.).

La importancia del impacto viene representado por un número que se deduce mediante el modelo propuesto en la tabla: 20, en función del valor asignado a los símbolos considerados.

$$I = \pm [IN + 2 EX + MO + PE + PV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

La importancia del impacto toma valores entre (13 y 100).

Presenta valores intermedios (entre 40 y 60) cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- ✓ Intensidad total, y afección mínima de los restantes símbolos.
- ✓ Intensidad muy alta o alta, y afección alta o muy alta de los restantes símbolos.
- ✓ Intensidad alta, efecto irrecuperable y afección muy alta de alguno de los restantes símbolos.

- ✓ Intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afección muy alta de al menos dos de los restantes símbolos.

Los impactos con valores de importancia inferiores a (25) son irrelevantes o sea, compatibles, o bien las medidas ambientales se contemplaron en el diseño del proyecto. Los impactos moderados presentan una importancia entre (25 y 50). Serán severos cuando la importancia se encuentre entre (50 y 75) y críticos cuando el valor sea superior a (75).

TABLA: 21

Datos básicos para la Valoración de Impactos Ambientales

NATURALEZA - Impacto beneficioso + - Impacto perjudicial -	INTENSIDAD (IN) (Grado de Destrucción) - Baja 1 - Media 2 - Alta 4 - Muy alta 8 - Total 12
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia) - Puntual 1 - Parcial 2 - Extenso 4 - Total 8 - Crítica (+4)	MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación) - Largo plazo 1 - Medio plazo 2 - Inmediato 4 - Crítico (+4)
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto) - Fugaz 1 - Temporal 2 - Permanente 4	REVERSIBILIDAD (RV) - Corto plazo 1 - Medio plazo 2 - Irreversible 4
SINERGIA(SI) (Potenciación de la manifestación) - Sin sinergismo (simple) 1 - Sinérgico 2 - Muy sinérgico 4	ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo) - Simple 1 - Acumulativo 4
EFFECTO (EF) (Relación causa-efecto) - Indirecto (secundario) 1 - Directo 4	PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación) - Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1 - Periódico 2 - Continuo 4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos) - Recuperable inmediato 1 - Recuperable medio plazo 2 - Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4 - Irrecuperable 8	IMPORTANCIA (I) $I = \pm [3 IN + 2EX + MO + PE + PV + SI + AC + EF + PR + MC]$

Fuente: Instructivo para la valoración de impactos ambientales

4.16. MEDIDAS CORRECTORAS Y COMPENSATORIAS (MC)

Definimos como medidas correctoras, la introducción, incorporación, o modificación de procesos y actuaciones sobre la actividad o sobre el medio ambiente con el fin de:

- a) Explotar en mayor medida las oportunidades que brinda el medio al mejor logro ambiental de la actividad.
- b) Anular, atenuar, evitar, corregir o compensar los efectos negativos que las acciones derivadas de la actividad producen sobre el medio ambiente, en el entorno de aquellas.
- c) Incrementar, mejorar y potenciar los efectos positivos que pudieran existir.

Según el carácter con el que actúan distinguimos entre: (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

- a) Medidas protectoras, que evitan la aparición del efecto modificando los elementos definitorios de la actividad (tecnología, diseño, traslado, tamaño, materias primas...)
- b) Medidas correctoras de impactos recuperables, dirigidas a anular, atenuar, corregir o modificar las acciones y efectos sobre:
 - 1) Procesos productivos (técnicos...)
 - 2) Condiciones de funcionamiento (filtros, insonorizaciones, normas de seguridad...)
 - 3) Factores del medio como agente transmisor (auspiciar dispersión atmosférica, dilución...)
 - 4) Factores del medio como agente receptor (aumento de caudal, aireación de las aguas,...)
 - 5) Otros parámetros (modificación del efecto hacia otro de menor magnitud o importancia)

- c) Medidas compensatorias de impactos irreversibles e inevitables, que no evitan la aparición del efecto, ni lo anulan o atenúan, pero contrapesan de alguna manera la alteración del factor (pago por contaminar, creación de zonas verdes), sujeto a aprobación por la autoridad correspondiente.

De acuerdo con la gravedad y el tipo de impacto las medidas correctoras se consideran:

- a) Posibles, siempre que tiendan a la corrección de impactos recuperables.
- b) Obligatorias, que corrigen impactos recuperables, ambientalmente inadmisibles, hasta alcanzar los estándares adoptados o legalmente establecidos.
- c) Convenientes, para atenuar impactos recuperables, ambientalmente admisibles.
- d) Imposibles, cuando se trata de impactos irreversibles, ambientalmente inadmisibles, o bien cuando no atañen directamente a la mitigación del efecto.

Atendiendo a la porción del entorno en la que actúan, se considera que se pueden introducir: (Instructivo para la valoración de impactos ambientales, s.f.)

- a) Únicamente en la zona donde se desarrolla la actividad o tiene lugar la actuación.
- b) En un ámbito más o menos importante del entorno, traspasando el ámbito donde se desarrolla la actividad.
- c) En áreas externas a la zona de actuación (barreras visuales en una carretera...).

Según el número de factores alterados que se pretende corregir diferenciamos entre:

- a) Monovalentes, que evitan o atenúan el efecto de una o más acciones sobre un solo factor.
- b) Polivalentes, que actúan sobre efectos que alteran la calidad ambiental de dos o más factores (las medidas contra la erosión, actúan simultáneamente sobre la revegetación, paisaje, destino de las escorrentías,...)

Se estudiarán en profundidad las medidas a introducir en el sistema de gestión ambiental de la organización, en el plan de auditorías y sobre todo en el desarrollo de la actividad, agrupándolas en:

- a) Medidas dirigidas a mejorar el diseño.
- b) Medidas para mejorar el funcionamiento durante la fase operacional.
- c) Medidas dirigidas a mejorar la capacidad de acogida del ambiente.
- d) Medidas dirigidas a la recuperación de impactos inevitables.
- e) Medias compensatorias para los factores afectados por efectos inevitables e incorregibles.
- f) Medidas previstas para el momento de abandono de la actividad al final de su vida útil.
- g) Medidas para el control y la vigilancia ambiental, durante las fases, funcionamiento y abandono.

4.17. VALORACIÓN CUALITATIVA

Establecido en los apartados anteriores el método requerido para llevar a cabo la valoración cualitativa de los impactos en cada elemento tipo, se establece ahora la valoración cualitativa de cada una de las acciones que han sido causa de impacto y a su vez de los factores/aspectos ambientales que han sido objetos de impacto.

La suma algebraica de la importancia del impacto de cada elemento tipo por columnas, identificará las acciones más agresivas (altos valores negativos), las poco agresivas (bajos valores negativos) y las beneficiosas (valores positivos), pudiendo analizarse las mismas según sus efectos sobre los distintos subsistemas.

Asimismo, la suma de la importancia del impacto de cada elemento tipo por filas, nos indicará los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias de la realización del proyecto, obra o actividad.

Por adición de éstos, y en las filas correspondientes, vendrán indicados los efectos totales causados en los distintos componentes y subsistemas presentes en la matriz de

impactos. Como ya se ha dicho, el impacto final es la diferencia entre la situación del ambiente modificado por causa del proyecto, obra o actividad y la situación tal y como habría evolucionado sin la presencia de aquél.

Los impactos causados por el proyecto, obra o actividad se estudiarán para el periodo de construcción, para la fase de funcionamiento y la fase de cierre o derribo cuando las circunstancias así lo requieran.

En la situación final de funcionamiento, la diferencia entre la situación del medio ambiente con y sin proyecto, obra o actividad, es debida, no sólo al efecto de las acciones impactantes en la propia fase de funcionamiento, sino también al efecto de alguna acción irreversible o de efecto continuado estudiado en la fase de construcción (por ejemplo, la tala de árboles y la construcción de accesos viales, tienen lugar en la fase de construcción, pero intervienen al deterioro del Ambiente en la situación final).

Este tipo de acciones se reflejan con el signo * en el elemento tipo. Se relacionan los efectos finales sobre los factores ambientales y se obtiene como suma de la importancia del impacto en la fase de funcionamiento y la importancia del impacto de las acciones cuyo efecto es irreversible o permanente durante largo plazo o a lo largo de la vida del proyecto, aunque tengan lugar durante la fase de construcción.

Con base en este tipo de evaluación cualitativa, se debe elaborar un apartado, en el que serán objeto de especial atención aquellas acciones consideradas como más agresivas del proyecto ver Anexo: 14 La Matriz de Importancia de Impactos Ambientales.

4.18. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

4.18.1. Características y contenidos del plan de manejo ambiental

En diversos documentos se define al plan de manejo ambiental como el conjunto detallado de actividades, que producto de una evaluación, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos ambientales que son causados por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad. (Gómez Orea Domingo, 2003)

Un objetivo importante de la evaluación ambiental es desarrollar procedimientos y planes para asegurar que las medidas de mitigación y los requisitos de monitoreo aprobados durante la revisión ambiental serán realizados realmente en las etapas subsecuentes del proyecto.

Consecuentemente, se debe otorgar un importante énfasis en la preparación de los planes de manejo ambiental y en precisar las condiciones y las metas que se implementarán durante la puesta en marcha del proyecto.

En general debe destacarse que un plan de manejo ambiental se utiliza como base para establecer el comportamiento ambiental requerido por un proyecto durante sus diversas etapas, incluyendo su abandono. Identifica todas las medidas consideradas para acompañar los impactos ambientales significativos generados por el proyecto.

Para ello el plan consideran los siguientes elementos: (Gómez Orea Domingo, 2003)

- ✓ Una declaración de la política ambiental del proyecto, incluyendo el cumplimiento de la legislación ambiental.
- ✓ Una agenda de trabajo y un cronograma de las tareas que deben efectuarse para cumplir con las exigencias y recomendaciones ambientales.
- ✓ Un sistema de informes sobre la evaluación ambiental del proyecto y el seguimiento, incluyendo las auditorías correspondientes.
- ✓ Un plan de contingencias para responder a los impactos que no se comportan según lo previsto en la EIA.

En gran medida el cumplimiento de los programas de protección ambiental y el manejo de los impactos negativos dependen de las acciones de mitigación y compensación. En definitiva, estas medidas son las que hacen viables las acciones humanas desde el punto de vista del ambiente. (Gómez Orea Domingo, 2003)

4.19. CONTENIDOS DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

TABLA: 22

Contenidos del Plan de Manejo Ambiental

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. Programa de mitigación, con los mecanismos y acciones tendientes a minimizar los impactos ambientales negativos durante la construcción, operación y abandono de los proyectos;2. Programa de medidas compensatorias que comprende el diseño de las actividades tendientes a restituir el medio ambiente;3. Programa de prevención de riesgos y accidentes vinculados al proyecto;4. Programa de contingencias, con las respuestas frente a la manifestación del riesgo;5. Programa de seguimiento, para acompañar y verificar el comportamiento ambiental del proyecto;6. Programa de participación ciudadana para involucrar a los actores; y7. Programa de capacitación para disponer de recursos humanos adecuados a las necesidades. |
|---|

Fuente: ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.

Como resultado de la evaluación realizada el Plan de Manejo Ambiental incluye:

4.19.1. Plan de Prevención y Reducción de la Contaminación Ambiental

Presentar los programas y procedimientos para prevenir accidentes ambientales. Incluir los procedimientos para responder a emergencias ambientales, e indicar los equipos de seguridad que serán utilizados.

4.19.2. Plan de Mitigación

La mitigación es el diseño y ejecución de obras, actividades o medidas dirigidas a moderar, atenuar o disminuir los impactos negativos que un proyecto pueda generar sobre el entorno humano y natural. Incluso la mitigación puede reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado. En el caso de no ser ello posible, se restablecen al menos las propiedades básicas iniciales.

El propósito de la mitigación es generar acciones prediseñadas, destinadas a llevar a niveles aceptables los impactos ambientales de una acción humana. En complemento, las medidas de compensación buscan producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a uno de carácter adverso.

4.19.3. Plan de Medidas Compensatorias

En impactos negativos significativos que no pueden mitigarse, habrá de diseñarse medidas o acciones mediante las cuales se pretende restituir los impactos ambientales irreversibles generados por una acción o grupo de ellas en un lugar determinado, a través de la creación de un escenario similar al deteriorado, en el mismo lugar o en un lugar distinto al primero. Lo anterior, con el propósito de producir o generar un impacto positivo alternativo y equivalente a un impacto adverso.¹⁵

4.19.4. Plan de Contingencias y Riesgos

El plan de contingencias y riesgos contiene las medidas de primera respuesta ante posibles situaciones de emergencia que podrían suscitarse durante las diferentes etapas de algún proyecto, que puedan poner en peligro al ambiente o la seguridad del personal, su propósito es compilar las acciones y los procedimientos de primera respuesta a aplicarse para prevenir y responder a las posibles emergencias durante las actividades del proyecto.

¹⁵ ESPINOZA, Guillermo .Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental, Santiago de Chile, 2007.

4.19.5. Plan de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional

Presentar los planes o programas específicos y ajustados a la realidad de sus actividades que se ejecutarán en cada una de las etapas del proyecto para prevenir cualquier accidente, emergencia o contingencia ambiental generada por el desarrollo de sus actividades, incluidos la transportación y el almacenamiento de las sustancias que se van a emplear.

4.19.6. Plan de Comunicación, Capacitación y Educación

Definir las necesidades de capacitación de los integrantes de la organización y calendarizarla, es recomendable que se identifiquen las necesidades de capacitación, principalmente de aquel personal cuyo trabajo pueda crear un impacto significativo sobre el medio ambiente. Ello implica que la capacitación podría ser más intensiva para el personal cuyas funciones están directamente relacionadas con funciones ambientales claves. (Gómez Orea Domingo, 2003).

4.19.7. Plan de Monitoreo

El programa de monitoreo ambiental establecerá un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras indicadas en el estudio. Consiste por lo tanto en el diseño de un programa de vigilancia con el fin de verificar las repuestas positivas previstas para las medidas correctoras.

4.19.8. Plan de Seguimiento, Educación y Control

El programa de seguimiento, evaluación y control ambiental tiene por función básica garantizar el cumplimiento de las indicaciones y de las medidas de protección contenidas en el PMA, el seguimiento, tanto de la obra o actividad realizada, como los impactos generados, puede considerarse como uno de los más importantes componentes de la planificación. (Guillermo Espinoza, 2007).

El control es requisito imprescindible para que la aplicación de las medidas no se separe de las metas originales y se desvíen de los objetivos ambientales. Este es el marco necesario para evaluar los resultados obtenidos y mejorar las decisiones de gestión.

4.19.9. Plan de Abandono

El PMA deberá ser actualizado cuando el titular o empresa considera necesario modificar las técnicas o procedimiento aprobados, o cuando el proceso productivo sufra modificaciones que impacten de manera diferente al ambiente físico y social, con relación a los impactos en los instrumentos de gestión ambiental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la presente disertación de grado podrían ser implementados en poblaciones rurales de 1000, 2000 y 3000 habitantes.
2. El tratamiento con tanque séptico, humedal y pozos de absorción es una alternativa que se puede aplicar a este tipo de conglomerados humanos, debido a que el costo de mantenimiento de operación es bajo.
3. Después de realizar la evaluación del impacto ambiental se ha determinado que el proyecto es amigable con el ambiente y que los impactos ambientales podrían ser mitigados.
4. El diseño integral de este tipo de tratamiento para poblaciones rurales se encuentran dimensionadas tanto en planta y en corte en los planos anexos de la tesis.
5. Con todo lo anotado y analizado anteriormente la conclusión más sobresaliente e importante que es factible la construcción de los prototipos para las poblaciones de 1000, 2000 y 3000 habitantes.
6. Luego de realizar el análisis presupuestario de forma global para la solución de 1000 habitantes se tiene un costo de 39.103,53 dólares; para la solución de 2000 habitantes se tiene un costo de 66.108,02 dólares y para la solución de 3000 habitantes se tiene un costo de 91.872,09 dólares. Estos valores son fácilmente financiables para comunidades rurales.

RECOMENDACIONES

1. Es importante que este documento final sea entregado en el departamento de la vinculación con la comunidad de la Universidad Politécnica Salesiana con la finalidad que se pueda seleccionar a las primeras comunidades beneficiadas con el desarrollo de este proyecto.
2. Una vez que se seleccione a la comunidad beneficiaria con el proyecto sería recomendable entregarle un juego de planos a la entidad responsable de formular y ejecutar los proyectos para que pueda iniciar con la planificación de la construcción.
3. La teoría y la metodología de cálculo del humedal sería sustancial que se adjunte al contenido didáctico de la materia de tratamiento de aguas, contribuyendo de esa manera con el incremento del nivel académico.
4. En la fase de operación y mantenimiento determinar las épocas de fenómenos sobrenaturales, observar los niveles en que está trabajando, para que funcione como se especifican en los planos. Caso contrario que se esté trabajando con niveles por arriba de los indicados, mejor mantener el agua residual almacenada en las cámaras sépticas que preceden a este sistema.

GLOSARIO

AGUA: Líquido inodoro, incoloro e insípido, ampliamente distribuido en la naturaleza. Representa alrededor del 70% de la superficie de la Tierra. Es imposible la existencia de la vida sin este elemento. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

AGUAS NEGRAS O RESIDUALES: Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico de los últimos años por la contaminación de los ecosistemas. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS: Aguas residuales principalmente derivadas de hogares, edificios de oficinas, instituciones, etc., que pueden o no contener aguas escurridas de superficie, aguas subterráneas, o aguas lluvias. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

AGUA SUBTERRÁNEA: Agua existente debajo de la superficie terrestre en una zona de saturación, donde los espacios vacíos del suelo están llenos de agua. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

AMBIENTE: Término colectivo que describe las condiciones que rodean un organismo. Es un conjunto de factores externos, elementos y fenómenos tales como el clima, el suelo, otros organismos, que condicionan la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

ÁREA RURAL: Espacio donde predominan las actividades productivas del sector primario, conteniendo además las trazas de sistemas de transporte, instalaciones industriales, generación eléctrica, población y servicios, todos ellos dispersos. Estos espacios rurales, componentes de la estructura territorial, guardan relaciones interactivas con las áreas urbanas a las que rodea, con una transición gradual mediante espacios intercalados de una y otra hasta que prevalezca una de ellas. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

ÁREA URBANA: Espacios que contienen la población nucleada, en los que prevalece como uso del suelo el soporte de construcciones, infraestructura y servicios, incluyendo espacios con vegetación destinados al esparcimiento. Constituyen el espacio territorial de mayor desarrollo de actividades secundarias y terciarias. Estos espacios urbanos, componentes de la estructura territorial, guardan relaciones interactivas con las áreas rurales circundantes, con una transición gradual mediante espacios intercalados de una y otra hasta que prevalezca una de ellas. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

BIODEGRADABLE: Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivos, los más importantes de los cuales son bacterias aerobias. Sustancia que se descompone o desintegra con relativa rapidez en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos e insectos. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

CALIDAD DEL AGUA: La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua. Las características hidrológicas son importantes indicando el origen, la cantidad y el tiempo de permanencia. Estas condiciones tienen relevancia, según los tipos de substratos del viaje del agua, cargándose de ciertas sustancias en función a la composición y la solubilidad de algunos materiales. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

CICLO HIDROLÓGICO: Comprende las distintas etapas o fases por las que pasa el agua en el planeta. Las principales son: precipitación, escurrimiento y evaporación. Debido al calor del Sol, hay evaporación del agua de los mares. Este vapor de agua forma las nubes, que son transportadas por los vientos a la tierra firme, en donde toman altura y se condensan, provocando las lluvias. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

COAGULACIÓN: Proceso en que un sólido muy dividido que se encuentra en suspensión, o en dispersión coloidal, por adición de compuestos químicos pasa a estar formado por partículas de mayor tamaño. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

COLIFORMES FECALES: Grupo de bacterias que se encuentran en abundancia en el intestino del hombre. Se las utiliza como indicador de contaminación microbiológica de las aguas. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

DECANTACIÓN: Procedimiento de separación de un líquido y un sólido insoluble (que no puede disolverse) en él, o de dos líquidos no miscibles (no se pueden mezclar), aprovechando así la acción de gravedad. (Hernan E. Hilleboe, 1980)

EFLUENTE: Aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

HUMEDAL ARTIFICIAL: Denominado también biofiltro o pantano seco artificial, puede ser usado como el tratamiento secundario de las aguas residuales, instalándose de forma complementaria al Tanque séptico o Imhoff. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

MACRÓFITAS. Constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las macroalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas. (Humedales artificiales, 2009)

PERIODO DE RETENCIÓN: El tiempo teórico requerido para desalojar el contenido de un tanque o una unidad, a una velocidad o régimen de descarga determinado (volumen dividido por el gasto). (Gladys Carrión Carrera, 2008)

RIZOMA: Tallo horizontal y subterráneo, como el del lirio común. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

SEDIMENTACIÓN: El proceso de asentar y depositar la materia suspendida que arrastra el agua, las aguas negras u otros líquidos, por gravedad. Esto se logra usualmente disminuyendo la velocidad del líquido por debajo del límite necesario para el transporte del material suspendido. También se llama asentamiento. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

TANQUE SÉPTICO: Es un tanque de sedimentación de acción simple, en el que los lodos sedimentados están en contacto inmediato con las aguas negras que entran al tanque, mientras los sólidos orgánicos se descomponen por acción bacteriana anaerobia. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

TOTORA: Planta perenne, común en esteros y pantanos, cuyo tallo erguido mide entre uno y tres metros, según las especies. Tiene uso en la construcción de techos y paredes para cobertizos y ranchos. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

TRATAMIENTO PRIMARIO: Proceso anaeróbico de la eliminación de sólidos. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Tratamiento donde la descomposición de los sólidos restantes es hecha por organismos aeróbicos, este tratamiento se realiza mediante campos de percolación o pozos. (Gladys Carrión Carrera, 2008)

PARÁMETROS FÍSICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

Color. El color del agua puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), plancton, restos vegetales y residuos industriales dándole al agua una coloración amarillo-café. (Dra. Castro, 1995)

Transparencia. La presencia de materiales en suspensión y colorantes disminuye la transparencia del agua. La energía luminosa disponible para la fotosíntesis puede encontrarse considerablemente reducida. La pérdida de transparencia afecta negativamente a su aspecto estético. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Turbiedad. Es la presencia de partículas, debido a un tratamiento insuficiente o como consecuencia de la suspensión de un material extraño en el sistema de distribución. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Olor. El olor de las aguas residuales recientes es peculiar y algo desagradable. Los olores a podrido, así como los del ácido sulfúrico son indicadores de que las aguas servidas son sépticas. Las aguas servidas dan olores característicos a las aguas residuales domésticas. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS

Temperatura: Muchas industrias utilizan el agua como fluido de refrigeración en circuitos abiertos, como por ejemplo las centrales térmicas, siderúrgicas, industrias agrícolas, etc.; dichos procesos vierten en el cuerpo receptor cantidades importantes de calor. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

pH: Es una medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas. Por definición el pH de una solución es igual al logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en la solución. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

Conductividad eléctrica: La conductividad específica es una medida de la capacidad como muestra de transmitir la corriente eléctrica. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Calcio: El calcio contribuye a la dureza total del agua. El contenido de calcio puede encontrarse en un rango de cero a varios cientos de miligramos por litro. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Dureza total: La dureza es un parámetro de interés en el agua y las cantidades relativas de dureza de calcio y magnesio, dureza carbonatada y bicarbonatada. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

Dureza: Se define como la capacidad de los cationes de una muestra de agua, para reemplazar los iones de sodio o potasio de los jabones y formar productos poco solubles. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Cloruros: El ión cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

Sulfatos. En presencia de materia orgánica, ciertas bacterias pueden reducir el sulfato a sulfito. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

NUTRIENTES

Fosfatos. El fósforo se presenta en el agua natural y residual en varias formas, comúnmente son clasificadas como ortofosfatos, fosfatos condensados y orgánicos. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

Nitrógeno: Las aguas contaminadas se purifican por sí solas conforme pasa el tiempo, el peligro o riesgo de salud en contraer enfermedad al beber el agua decrece con el tiempo y la temperatura. En las aguas residuales domésticas y contaminadas, el nitrógeno presente está bajo las formas de nitrógeno orgánico y amoniacal posteriormente, según las condiciones aerobias, se oxidaría a nitritos y nitratos, este proceso de nitrificación depende de la temperatura, oxígeno disuelto y pH. (Fredy Salinas Meléndez, 2010)

INDICADORES DE CONTAMINACIÓN BIOQUÍMICA

Oxígeno Disuelto: El oxígeno disuelto en las aguas residuales indican el grado de frescura o ranciedad de esta agua, así como también necesidades de proveerlas o no, de un adecuado control de sus olores. (Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes, 2005)

Demanda química de oxígeno (DQO). Corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido. La oxidación llevada a cabo en un laboratorio de análisis de DQO no será correspondiente a la estequiometría. (Glynn Henry y Gary W. Heinke, 1999)

BIBLIOGRAFÍA

- Humedales artificiales*. (2009). Recuperado el 14 de 08 de 2012, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/9/CAPITULO%204.pdf>
- Totoras en la provincia de Imbabura*. (2011). Recuperado el 19 de 09 de 2012, de <http://totorasisa.blogspot.com/>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. (2003). Especificaciones Técnicas para el Diseño de Tanques Sépticos. *Unidad de Apoyo Técnico Para el Saneamiento Básico del Área Rural*. Lima.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Mundial de la Salud. (2003). Especificaciones Técnicas para Pozos de Infiltración. *Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural*. Lima.
- Cristian Frers. *El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 17 de 06 de 2012, de <http://www.ecojoven.com/Ecologia/aresiduales.html>
- Dra. Castro. (1995). *Manual de Procedimientos Simplificados de Análisis Químicos de Aguas Residuales*.
- Fredy Salinas Meléndez. (2010). *Ambiente y Salud: El Agua*.
- Gladys Carrión Carrera. (2008). *Manual Técnico de Difusión Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales*. Lima: Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.
- Glynn Henry y Gary W. Heinke. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Prentice Hall.
- Gómez Orea Domingo. (2003). *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.

- Guillermo Espinoza. (2007). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago de Chile.
- Hernan E. Hilleboe. (1980). *Manual de Tratamiento de Aguas Negras*. Mexico: Limusa.
- Hrudey.(2004). Safe Drinking Water: Lessons from recent outbreaks in affluent. *Internacional Water Association Publishing*.
- ISO 19011: 2002. *Directrices para la Auditoría de los Sistemas de Gestión de la Calidad y/o Ambiental*. Suiza: Norma Internacional.
- Jairo Alberto Romero Rojas. (Febrero de 2004). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño*. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández. (Noviembre de 2008). Depuración con Humedales Construidos. *Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*.
- Lola Vásquez, Napoleón Saltos. (2008). *Ecuador su realidad*. Quito-Ecuador: Fundación José Peralta.
- María Dolores Curt Fernández de la Mora. (2010). *Fitodepuración en humedales conceptos generales*.
- Melissa Moreano . *La Tierra Húmeda*. Recuperado el 20 de 09 de 2012, de Humedales ecuatorianos:
- http://www.paramo.org/dvd/Paramo%20Andino%20Ecuador/COMPONENTE%204/PROPUESTA%20PARA%20MUSEO%20yAKU_%20Ecosistemas%20de%20los%20andes/Humedales.pdf
- Oscar Delgadillo, Alan Camacho, Luis F. Pérez , Mauricio Andrade. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba- Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Red Ecuatoriana de Consultores Ambientales Independientes. (2005). *Diccionario Ambiental*. Ecuador: RECAI.

Romero Aguilar Mariana, Colín Cruz Arturo, Sánchez Enrique. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 157-167.

Instructivo para la valoración de impactos ambientales. Recuperado el 23 de Octubre de 2012, de

<http://www.digeca.go.cr/documentos/prodmaslimpia/7Instructivo%20para%20la%20valoracion.pdf>

TULAS. (RO: 31 de Marzo del 2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria*.

Vicente Conesa Fdez. (2010). *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi- Prensa.

Water. (2004). Sanitation and hygiene links to health: facts and figures. *World Health Organization*.

Zambrano Xavier, Xavier Saltos y Franklin Villamar. *Diseño del Sistema de tratamiento para la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas*. Escuela Superior Politécnica del litoral (ESPOL).

Píriz, A.J. (2000). *Condiciones de Óxido-Reducción en Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial*. Tesina de Especialidad, ETSECCPB, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 104 pp.

Bécares, E. (2004). Función de la vegetación y procesos de diseño de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal y flujo superficial”. En: *Nuevos Criterios para el Diseño y Operación de Humedales Construidos*. García, J., Morató, J. y Bayona, J.M Editores, CPET-Centro de Publicaciones del Campus Nord, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, pp 51-62.

Brix, H. (1994). The Role of Wetlands for the Control of Pollution in Rural Areas. Desing and Use of Constructed Wetlands. Curso CIHEAM-IAWQ. Zaragoza.

Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. y Haberl, R. (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, IWA Publishing, 155 pp.

García J., Aguirre P., Mujeriego R., Huang Y., Ortiz L. y Bayona, J. M. (2004). Initial Contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater, 1669-1678.

Reed, S.C., Crites, R.W. y Middlebrooks, E.J. (1995). Natural Systems for Waste Management and Treatment. Second edition. McGraw Hill. 433 pp.

Cooper, P.F., Job, G.D., Green, M.B. y Shutes, R.B.E. (1996). Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. 184 pp.

ANEXOS
